



Arttu Tuominen

Rataverkon luokittelun vertailu kantavuuden mukaan

Arttu Tuominen

Rataverkon luokittelun vertailu kantavuuden mukaan

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2010

Liikennevirasto
Helsinki 2010

Kannen kuvat: Juha Vuorinen

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-542-7

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Arttu Tuominen: Rataverkon luokittelun vertailu kantavuuden mukaan. Liikennevirasto, rautatieosasto. Helsinki 2010. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 21/2010. 53 sivua ja 5 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-542-7

Avainsanat: Päälysrakenneluokitus, rataluokitus, EN-standardi, geotekniset junakuormat, kuormakaavio

Tiivistelmä

Tässä työssä käsitellään Suomen rataverkon nykyisiä ja uusia eurooppalaisiin standardeihin ja niiden sovelluksiin pohjautuvia luokittelumenetelmiä. Luokittelumenetelmiä vertaillaan kantavuuden mukaan. Lisäksi työssä tutkitaan uusien eurooppalaisten standardien vaikutusta Suomen rataverkon mitoittamiseen ja kantavuuteen. Tämä tapahtuu tutkimalla uusien ja vanhojen ohjeiden mukaisia junakuormia. Työssä tutkitaan myös lyhyesti kalustotekniikan kehitystä rautatiemaailmassa.

Suomalainen ratojen luokittelumenetelmä pohjautuu nykyisellään päälysrakenteen laatuun. Se kuvastaa ratakiskojen, ratapölkkyjen ja tukikerroksen laatua. Eurooppalainen rataluokitus kuvaa puolestaan ratojen kuormitettavuutta ja se huomioi myös päälysrakenteen alapuolisten rakenteiden ja maapohjan kantavuuden. Koska eurooppalaiset standardit tulevat voimaan myös Suomessa lähitulevaisuudessa, luokittelumenetelmät tulee yhtenäistää eurooppalaisia vastaaviksi. Tässä työssä tutkitaan näiden luokitteluun liittyvien asioiden eroavaisuuksia ja niiden vaikutuksia suomalaiseen rataverkkoon.

Geoteknisten junakuormien osalta työssä tutkitaan nykyisten ja uusien ohjeiden mukaisia kuormitustapauksia, jotka liittyvät ratojen luokitteluun ja sitä kautta mitoittamiseen. Tarkoituksena on käsitellä mitoituskuorman muuttumista eurooppalaisten normien mukaiseksi. Geoteknisiä junakuormia tutkitaan geotekniikan kannalta eli tarkastellaan maanvaraisia rakenteita eikä esimerkiksi siltoja.

Lisäksi työssä tutkitaan junien kalustotekniikkaa. Kalustotekniikan osalta tutkitaan lyhyesti sen kehittymistä ja kuormien sekä akselien geometristen ominaisuuksien kehittymisen vaikutusta liikennöitävyyteen. Kalustoteknisiä seikkoja käsitellään vaunujen osalta.

Työn tuloksena pyritään löytämään mahdollisimman paljon rataverkon luokittelun ongelmakohtia, jotka liittyvät uusien eurooppalaisten standardien voimaantuloon. Näille ongelmakohtille pyritään myös löytämään ratkaisumalleja ja -ehdotuksia mahdollisuuksien mukaan. Lisäksi työssä esitellään uusien rataluokitusta ohjaavien standardien keskeistä sisältöä ja vaatimuksia.

Arttu Tuominen: Jämförelse av bannätets klassificering enligt bärkraft. Trafikverket, järnvägsavdelningen. Helsingfors 2010. Trafikverkets undersökningar och utredningar 21/2010. 53 sidor och 5 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-542-7

Nyckelord: Överbyggnad klassificering, banklassificering, EN-standard, geotekniska tåglaster, lastning schema

Sammandrag

Detta forskningsarbete behandlar nuvarande och nya klassificeringsmetoder för det finländska bannätet som baserar sig på europeiska standarder och tillämpningar av dessa. Klassificeringsmetoderna jämförs enligt bärkraft. Dessutom undersöks de nya europeiska standardernas inverkan på det finländska bannätets dimensionering och bärkraft. Detta genomförs genom att undersöka tåglaster som överensstämmer med nya och gamla anvisningar. Inom ramarna för forskningsarbetet undersöks också i korthet materielteknikens utveckling i järnvägssammanhang.

Klassificeringsmetoden för spåren i Finland baserar sig idag på överbyggnadernas kvalitet. Den återspeglar rälsens, syllarnas och stödlagrets kvalitet. Den europeiska banklassificeringen beskriver å sin sida spårens belastningskapacitet och beaktar också bärkraften hos konstruktionerna under överbyggnaderna och hos jordgrunden. Eftersom de europeiska standarderna kommer att träda i kraft också i Finland inom den närmaste framtiden, bör klassificeringsmetoderna förenhetligas så att de motsvarar de europeiska. Detta forskningsarbete undersöker olikheterna mellan sådant som har anknytning till klassificeringen och dessa sakers inverkan på det finländska bannätet.

När det gäller geotekniska tåglaster undersöks belastningsfall som följer nuvarande och nya anvisningar och som har att göra med spårens klassificering och därmed med dimensionering. Avsikten är att behandla förändringen av dimensioneringslasten mot att överensstämma med de europeiska normerna. Geotekniska tåglaster undersöks utgående från geoteknik, d.v.s. konstruktioner på marken granskas, inte exempelvis broar.

Dessutom undersöks tågens materielteknik. Beträffande materieltekniken undersöks i korthet dess utveckling och laster samt den effekt utvecklingen av axlarnas geometriska egenskaper har haft på framkomligheten. Materieltekniska faktorer behandlas för vagnarnas del.

Som ett resultat av arbetet strävar man efter att hitta så många problemområden inom klassificering av bannätet som möjligt, som har att göra med ikraftträdandet av de nya europeiska standarderna. Man strävar också efter att i mån av möjlighet hitta lösningsmodeller och -förslag för dessa problemområden. Dessutom presenteras i arbetet det centrala innehållet och villkoren i de standarder som styr de nya banklassificeringarna.

Arttu Tuominen: Comparison of Railway Network Classification According to Loading Capacity. Finnish Transport Agency, Railway Department. Helsinki 2010. Research reports of the Finnish Transport Agency 21/2010. 53 pages and 5 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-542-7

Key words: Surface Structure Category, Line Category, EN-standard, Geotechnical Railway Loading, Load Model

Summary

This study examines the current classification methods applied to the Finnish railway network as well as the new methods based on European standards and their applications. The classification methods are compared based on carrying capacity. Moreover, the study explores the effect the new European standards have on the load design and carrying capacity of the Finnish railway network. This is done by examining the train loads permitted by the new and old guidelines. The study also includes a brief look into the development of railway technology.

The current Finnish railway classification method focuses on the quality of the surface structure. It reflects the quality of the railway tracks, sleepers and ballast bed. The European railway classification system, on the other hand, hinges on the carrying capacity of the railway lines, taking into account also the carrying capacity of the structures and ground under the surface structure. As the European standards will be adopted in Finland in the near future, the Finnish classification methods must be harmonised with their European counterparts. This study investigates the differences between the classification methods and their effect on the Finnish railway network.

As regards geotechnical train loads, the study examines those loading scenarios adhering to the current and new guidelines that relate to railway classification and, by extension, to the load design of the railway network. The aim is to address the alteration of the design load to comply with the European standards. Geotechnical train loads will be studied from a geotechnical perspective. In other words, the study focuses on ground structures instead of, for example, bridges.

Furthermore, the study examines railway and train technology. The technology-oriented portion of the study briefly explores the development of railway technology as well as the effect of loads and the development of the geometric properties of axles on the quality of traffic flow. The technological issues will be addressed as regards railway carriages.

The intended result of the study is to locate as many problem areas as possible with regard to the adoption of the new railway classification methods that are based on European standards. An additional aim is to find solution models for these problems and present suggestions where possible. Moreover, the study introduces the essential content and requirements of the new standards governing railway classification.

Esipuhe

Tämän insinöörityön on tehnyt rakennusinsinööriopiskelija Arttu Tuominen Metropolia Ammattikorkeakoulun rakennustekniikan infrarakentamisen koulutusohjelmasta.

Työn valvojana on toiminut asiantuntija Kari Ojanperä Peverk Oy:stä ja ohjaajina aluepäällikkö Erkki Mäkelä Liikenneviraston rautatieosastolta ja Hannu Ranta Destia Oy:stä.

Helsingissä elokuussa 2010

Liikennevirasto
Rautatieosasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Ongelman kuvaus.....	8
2	MÄÄRITELMIÄ.....	11
3	KÄYTÖSSÄ OLEVAT OHJEET	13
3.1	Luokituksen ohjeistus	13
3.2	Ratatekniset ohjeet (RATO)	14
3.3	Yhteentoimivuuden tekninen eritelmä (YTE), infrastruktuuriasajärjestelmä....	15
3.4	Standardi SFS-EN 15528	15
3.5	Standardi SFS-EN 1991-2.....	16
4	RATOJEN LUOKITUS.....	17
4.1	Nykyisen luokituksen kehittyminen.....	18
4.2	Nykyinen luokitus.....	20
4.3	Päällysrakenneluokitus	21
4.3.1	Päällysrakenteen laatu	21
4.3.2	Päällysrakenneluokituksen sallitut nopeudet sekä akselipainot.....	22
4.4	Alusrakenneluokat	24
4.5	Uusi EN-järjestelmän mukainen rataluokitus.....	25
4.5.1	Uudet rataluokat	26
4.5.2	Uuden rataluokituksen muodostava ohjekokonaisuus.....	26
4.5.3	Rataluokan ja nopeuden yhdistäminen	33
5	GEOTEKNISET JUNAKUORMAT	35
5.1	RATO 3:n junakuormat.....	35
5.2	Kuormakaavio LM71 standardin SFS-EN 1991-2 mukaan	39
5.3	Standardin SFS-EN 15528 filosofia ja kuormat.....	40
5.3.1	Laskentamenetelmät.....	40
5.3.2	Kuormat.....	41
5.4	Venäläiset normit.....	42
6	KALUSTO	43
6.1	Kalustotekniikan kehittyminen.....	43
6.2	Nykykalusto.....	47
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	48

LIITTEET

Liite 1	Sallitut nopeudet eri akselipainoilla rataosittain
Liite 2	Huomautukset taulukkoon 14
Liite 3	Taulukon 10 yläviitteet
Liite 4	Kuormakaavio VR-74
Liite 5	Esimerkki mahdollisesta rataluokkien merkitsemisestä rataosittain

1 Johdanto

1.1 Ongelman kuvaus

Suomessa käytössä olevat ratojen mitoituksessa ja luokittelussa käytettävät ohjeet ovat muuttumassa Euroopan laajuisen rataverkon luokittelun myötä. Näin Euroopan rautatieviranomaiset pyrkivät yhtenäistämään rataverkkonsa alueellaan ja takaamaan eri maista lähtöisin olevan kaluston kulun rajojensa sisäpuolella. Rataverkon yhtenäistäminen perustuu Yhteentoimivuuden teknisiin eritelmiin ja sitä kautta kantavuuden osalta eurokoodien voimaantuloon sekä niiden sovelluksiin.

Nykyisin mitoituksessa ja luokittelussa käytetään Liikenneviraston rautatieosaston (entinen Ratahallintokeskus) ylläpitämiä Ratateknisiä ohjeita (RATO). RATO:n ohjeista geotekniseen mitoitukseen hyödynnetään osaa 3 ja sitä täydentää Ratahallintokeskuksen julkaisu *B15, Radan stabiliteetin laskenta, olemassa olevat penkereet*. Ratatekniset ohjeet yhdessä muiden Ratahallintokeskuksen julkaisujen kanssa määrittävät radan rakentamisen ja suunnittelun ohjeistuksen. RATO:n osassa 1 kuvataan puolestaan rataverkon luokittelua ja osassa 11 päällysrakennetta.

Ohjeistuksen muuttumisen keskeisimmäksi ongelmaksi muodostuu nykyisten ja uusien ratojen mitoituskuormien sekä laskentaperusteiden muuttuminen EN-standardien myötä. Nykyisin sekä uudet että vanhat radat ovat mitoitettu RATO 3:n mukaan. RATO 3:ssa kuormitustapaukset ja niistä muodostuvat nauhakuorman arvot ovat erilaiset kuin uusissa EU-säädöksiin mukaisissa ohjeissa. EU-säädökset astuvat voimaan Infra-YTE:n (Yhteentoimivuuden tekniset eritelmät, infrastruktuuriosajärjestelmä) voimaan tultua vaihteittain siten, että uusilla radoilla suunnittelussa käytettävät junakuormat määräytyvät Eurokoodin SFS-EN-1991-2 *Traffic loads on bridges* (uusien ratojen mitoitusta ohjaava julkaisu) mukaan, joka tulee olla käytössä viimeistään kesäkuussa 2010 liikenne- ja viestintäministeriön määräyksen mukaisesti. Olemassa olevilla radoilla luokittelussa ja parannuksissa käytettävät junakuormat määräytyvät SFS-EN 15528 (*Railway applications - Line categories for managing the interface between load limits of vehicles and infrastructure*) mukaan ja se tulee olla käytössä viimeistään joulukuussa 2010, samaan aikaan kuin voimaan astuva Infra-YTE (1/2011). Infra-YTE:n voimaantulon myötä uusien ja parannettavien ratojen käyttöönottoluvan yhtenä ehtona on edellä mainittujen EN-standardien noudattaminen (Eurokoodit, SFS-EN 15528) [1] [5] [6] [7] [9.]

Käytännössä uusilla radoilla teknistä ongelmaa ei muodostu. Eurokoodin yleisimmin käytettävä kuormakaavio LM71 (Load Model 71) ylittää nykyisen RATO 3:n mukaisen käytännön sekä olemassa olevilla radoilla käytettävän SFS-EN 15528 mukaisen kuorman. Näin ollen uusiin ratoihin voidaan hyödyntää uusia ohjeita suoraan, kunhan eurokoodien soveltamisohje saadaan valmiiksi ja käyttöön. Vaikka nykyisin myös RATO 3:ssa käytetään kuormakaaviota LM71, on sen kuormat kuitenkin pienemmät verrattuna SFS-EN 1991-2:en (ks. luku 5).

Koska nykyisin RATO 3:n mukaista käytäntöä sovelletaan sekä uusilla että vanhoilla parannettavilla rataosuuksilla, muodostuu ongelma olemassa olevien ratojen mitoituksessa sekä luokituksessa. Nykyisin radat ovat mitoitetut RATO 3:n kuormilla. Uuden ohjeen SFS-EN 15528 kuormat ovat suurempia kuin nykyisin käytettävät RATO 3:n kuormat, mutta pienempiä verrattuna SFS-EN 1991-2:den kuormiin. Uuden ja

vanhan standardin akselikuormilla laskettavan nauhakuorman laskentaperuste on erilainen: SFS-EN 15528 mukaan stabiliteettilaskennan nauhakuorma on suurempi kuin RATO 3:n vastaavilla akselikuormilla laskettu nauhakuorma.

Esimerkiksi Suomessa nykyisin kaikki merkittävät rataosuudet ovat päällysrakenneluokkaa C tai D, jotka vastaavat akselipainoiltaan EN-rataluokkia D4 ja E4, joissa akselipaino on 22,5 tonnia / 25 tonnia ja metripaino 8 tonnia/metri. Kyseisillä akselipainon arvoilla ja radan luokituksilla SFS-EN 15528 stabiliteettilaskennan nauhakuorma on (92)98 / 101 kN/m, kun taas RATO 3:n vastaavilla arvoilla ja laskennalla nauhakuorma on 80 / 88 kN/m. Tämän johdosta laskentaperusteiden ja kuormien muuttumisen myötä osa nykyisistä 22,5 tonnin ja 25 tonnin akselipainon sallivista rataosuuksista vaativat uudella luokituksella vahvistustoimenpiteitä tai jopa sallitun akselipainon laskemista. Jälkimmäinen vaihtoehto tuskin tulee kyseeseen, mutta jotain on tehtävä, jotta voidaan taata Suomen rataverkon turvallisuus ohjeiden muuttumisen myötä.

Käytännössä tämä kokonaisuus tarkoittaa sitä, että Suomen rataverkon kantavuutta tulisi tarkastella eri toimenpitein, ja mahdollisesti laskea ratojen kantavuutta uusien ohjeiden mukaisesti uudestaan rataosuus rataosuudelta ja luokitella sitä myöten laskentojen perusteella uudestaan uusiin rataluokkiin. Etenkin pehmeikköalueilla kantavuusongelma voi olla todellinen.

EN-käytäntöön siirtyminen tuo muutoksia myös varmuuskertoimiin ja laskentamenetelmiin. Nykyisen RATO:n mukaan stabiliteettia tarkasteltaessa kuormat ovat kaikissa laskentatapauksissa samat, mutta varmuuskertoimet muuttuvat tilanteesta riippuen. Uudessa tarkastelutavassa puolestaan kuormat vaihtelevat, mutta varmuuskertoimet pysyvät samoina. Eurokoodit muuttavat laskentamaailmaa kokonaisuudessaan siten, että niissä lasketaan osavarmuuskertoimilla kun RATO:ssa laskenta perustuu kokonaisvarmuuksiin. Kuormien osuus geoteknisessä mitoituksessa on kuitenkin suurempi kuin edellä mainittujen varmuuskertoimien.

Toinen keskeinen ongelma muodostuu kalustosta, jolla rataverkolla saa ajaa. Tulevaisuudessa raskaimman liikenteen kalusto pyritään tehokkuuden maksimoimiseksi mitoittamaan standardin SFS-EN 15528 kuormakaavioiden mukaan, koska ne sallivat akselien sijoittamisen perinteistä lähemmäksi vaunun päätyjä. Akselien sijoitus lähemmäksi vaunun päätyjä tekee kulkuominaisuuksista parempia ja helpottaa vaunun tekniikan ja purkulaitteiden sijoittelua. Tulevaisuudessa EN-käytännön kalusto pyritään suunnittelemaan ja rakentamaan siten, että ne vastaavat euronormien kuormakaavioiden mukaisia painoja ja akseleiden paikat sijoittuvat kuormakaavioiden mukaan.

SFS-EN 15528:ssa sekä SFS-EN 1991-2:ssa kaluston kuormitustapaukset ovat erilaiset kuin nykyisen kaluston mitoituksessa käytettävät vastaavat. Kuten mainittua, SFS-EN 15528 (huom! ei ole eurokoodi) sallii vaunun akselien sijoittamisen perinteistä lähemmäksi vaunun päätyä, josta seuraa, että pistemäinen rataan kohdistuva kuormitus on suurempi kuin nykykalustolla Suomessa. Harmonisoidut kuormitusoletukset ja laskentatavat mahdollistavat, että periaatteessa mistä tahansa Euroopan Unioniin kuuluvasta maasta tuleva kalusto, joka on mitoitettu YTE:n mukaan, voi ajaa Suomen rataverkolla. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että Suomen nykyisellä mitoituksella suunnitellut radat eivät osittain kestä tulevaisuudessa (rautatieverkoston avautumisen myötä) YTE:n mukaan mitoitettua

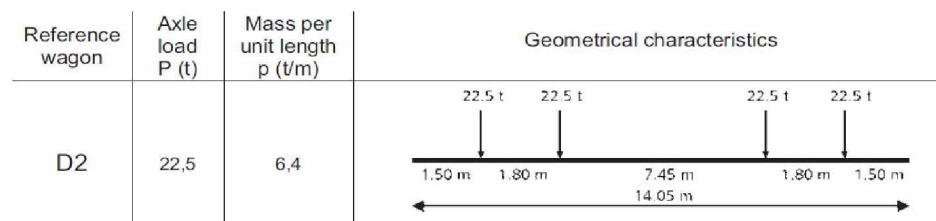
kotimaista sekä Suomen ulkopuolelta tulevaa YTE:n mukaista kalustoa ilman vahvistustoimenpiteitä.

Myös eurooppalaista käytäntöä noudattavien alueiden ulkopuolelta tuleva kalusto aiheuttaa harmia Suomen rataverkolla. Esimerkiksi venäläistä kalustoa kulkee Suomen rataverkolla jo nyt ja heidän mitoitusperusteistaan (sekä kalusto että kuormat) on saatavilla hyvin vähän virallista tietoa. Ratahallintokeskuksen julkaisussa *F8 Rataverkon kuvaus*, rajoitetaan itäisen yhdysliikenteen nopeuksia eri akselipainoluokilla suurten nopeuksien huonojen kulkuominaisuuksien vuoksi.

2 Määritelmiä

Akselipaino, liikkuvan kaluston yhden akselin molempien pyörien eli pyöräkerran raiteeseen aiheuttama staattinen kuorma, joka rasittaa radan rakenteita ja alapuolista pohjamaata [4, s. 4].

Metripaino, veturin tai vaunun staattinen paino jaettuna sen metreissä ilmaistulla pituudella (matka puskimesta puskimeen) [4, s. 4]. Toisin sanoen metripainolla kuvataan yhden vaunun teliparien kokonaispainoa jaettuna vaunun pituudella.



Kuva 1. Akselipainot (22,5 t) ja metripaino (6,4t) [5, s. 20]

Kuvassa 1 vasemmalla puolella kuvataan akselipaino (*axle load*) ja metripaino (*mass per unit length*). Oikealla puolella puolestaan kuvataan akselien sijoittuminen vaunuun ja vaunun kokonaispituus. Metripaino saadaan lasketuksi suoraan kuvan mukaisesti akselipainojen summasta jakamalla se vaunun kokonaispituudella ($4 \cdot 22,5 \text{ t} / 14,05 \text{ m} = 6,4 \text{ t/m}$).

Nauhakuorma, tasaisesti jakautunut (viiva)kuorma, joka muodostuu kaluston akselien kuormituksesta ja jota hyödynnetään stabiliteettilaskennassa.

Infrastruktuurilla rautatiejärjestelmässä tarkoitetaan radan pohja-, alus- ja päällysrakennetta.

Kuormakaavio, ratojen mitoituksessa käytettävä yleinen kuormitustapaus.

EN-standardi, Euroopan standardisoimisliiton (CEN) hyväksymä standardi.

SFS-EN-standardi, Suomen standardisoimisliiton vahvistama EN-standardi.

Teli tarkoittaa kahta tai useampaa akselia, jotka on rakennettu yhdeksi kokonaisuudeksi ja liitetty joustavasti kalustoon.

Alusrakenne koostuu välikerroksesta, eristyskerroksesta sekä mahdollisesta suodattimakerroksesta ja routalevystä [1, s. 5].

Välikerros muodostaa tukikerrokselle tasaisen ja kantavan alustan ja estää tukikerroksen sekoittumisen alla oleviin rakennekerroksiin [1, s. 7].

Eristyskerros estää tai vähentää sen alla olevien maakerrosten routimista ja muodostaa välikerrokselle tasaisen ja kantavan alustan sekä siirtää ja jakaa kuormat

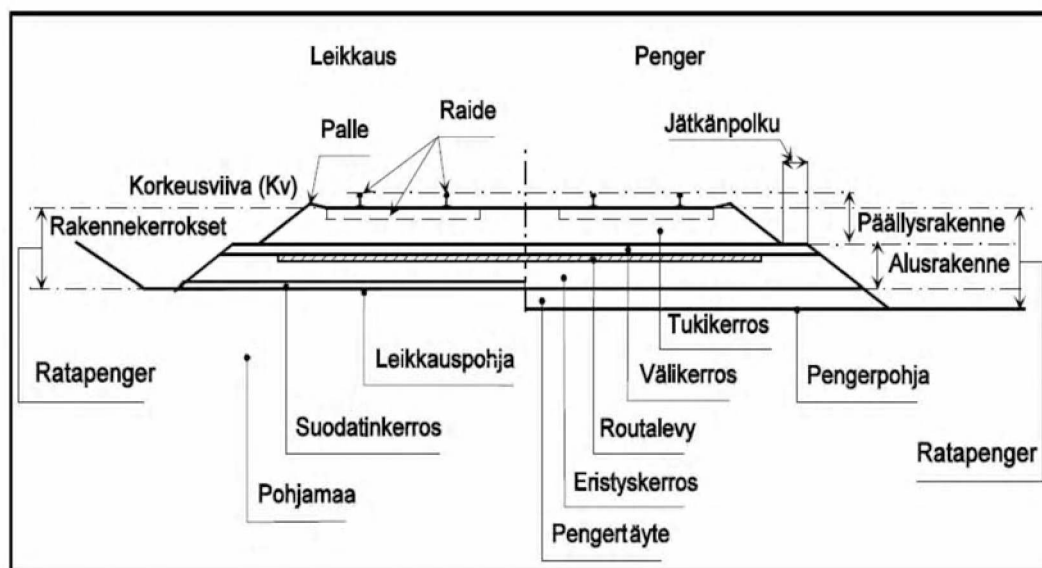
pohjamaalle. Tehtävänä on myös estää kapillaarinen veden nousu kerroksen alaosaan ja toimia suodatinkerroksena [1, s. 5.]

Suodatinkerros estää eristyskerroksen ja pohjamaan sekoittumisen [1, s. 7].

Päällysrakenne on radan rakennekerros, johon kuuluu tukikerros sekä raide [1, s.6].

Tukikerros pitää raiteen geometrisesti oikeassa asennossa ja asemassa, jakaa kuormia alusrakenteelle ja muodostaa raiteelle tasaisen ja kantavan alustan. Tukikerroksen materiaalina käytetään raidesoraa tai raidesepeliä [1, s. 7.]

Raide koostuu ratapölkyistä, ratakiskoista, ratakiskojen kiinnitys- ja jatkososista sekä vaihteista ym. erikoisrakenteista [1, s. 6].

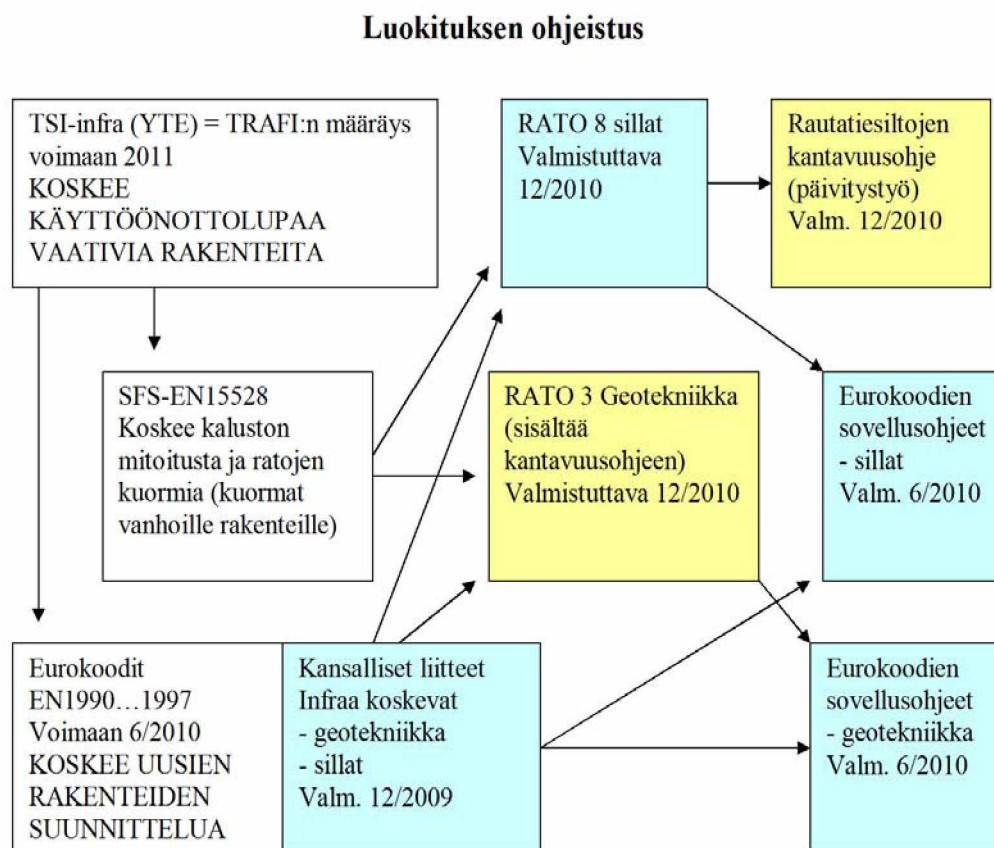


Kuva 2. Radan rakenteen nimityksiä [2, s. 7].

3 Käytössä olevat ohjeet

Ongelman tunnistamiseksi on hyvä tietää ja ymmärtää Suomen nykyistä sekä tulevaa EN-käytäntöön pohjautuvaa mitoitus- ja luokitusta. Rataverkon luokittelun kannalta oleellisia ohjeita sisältäviä teoksia ovat RATO 3, Infrastruktuuriasajärjestelmän yhteentoimivuuden tekninen eritelmä, SFS-EN 15528 sekä SFS-EN 1991-2. Näistä RATO 3 muodostaa nykyisen mitoituksen pohjan ja kolme jäljimmäistä uuden, euronormeihin pohjautuvan menettelytavan.

3.1 Luokituksen ohjeistus



Kaavio 1. Luokituksen ohjeistus ja vaikutukset kansallisiin ohjeisiin. Sinisellä pohjalla esitetyt ohjeet ovat tekeillä ja keltaiset aloittamatta [9.]

Kaavio 1 esittää ohjeistuksen muuttumista ja sen vaikutuksia kansallisiin ohjeisiin YTE:n ja EN-standardien myötä. Luokituksen ohjeistuksen muuttumisen perustana on Infra-YTE, jonka pohjalta normisto muuttuu eurokoodeihin ja niiden sovelluksiin. Samalla vanhat RATO:n ohjeet tulee päivittää EN-järjestelmän mukaiseksi. Kuten kaaviosta nähdään, uusien rakenteiden suunnittelussa tulee käyttää eurokoodeja SFS-EN 1990...1997 (ratojen kuormituskaavion osalta SFS-EN 1991). Vanhojen ratojen luokitusperusteet, mitoitusperusteet ja -kuormat sekä samalla myös kaluston mitoitus muuttuvat ohjeen SFS-EN 15528 kuormitustapausten mukaisiksi. RATO 3 (geotekniikka) ja RATO 8 (sillat) tulee päivittää EN-ohjekokonaisuuksien mukaisiksi,

ja lisäksi tulee tehdä eurokoodien sovellusohjeet sekä siltojen, että geotekniikan osalta. SFS-EN 15528:n kanssa käytetään eurokoodeissa esitettyä laskentamenetelmää.

Lisäksi kaavion 1 ohjeistuksen mukaisesti tulee RATO:n muut osat, kuten RATO 1 päivittää uuden rataluokituksen mukaiseksi. Huomattavaa kaavion mukaisessa kokonaisuudessa on myös aikataulun kireys: luokituksen muutokset tulee olla valmiina vuoden 2010 loppuun mennessä.

3.2 Ratatekniset ohjeet (RATO)

Ratatekniset ohjeet käsittävät perustiedot radan ja ratalaitteiden suunnittelua, rakentamista, tarkastusta ja kunnossapitoa varten ja se koostuu 19 osasta (osat 20 Ympäristö ja 21 Liikkuva kalusto ovat tekeillä). Ratateknisten ohjeiden nimilyhennys on nykyään RATO. Vielä vuonna 2008 Ratatekniset ohjeet kulkivat nimellä Rata-tekniiset määräykset ja ohjeet RAMO. Ratateknisiä ohjeita laatii ja ylläpitää Liikenneviraston rautatieosasto (entinen Ratahallintokeskus). RATO:a on noudatettava ratojen suunnittelussa, rakentamisessa, tarkastuksessa ja kunnossapidossa [4, s. 3.]

Nykyisen mitoituksen ja junakuormien pohjana geotekniikan osalta käytetään Ratateknisten ohjeiden osaa 3, radan rakenne. RATO 3:n kuormituskaavio on EN 1991-2 mukainen LM71 (Load Model) ja sitä sovelletaan sekä uusiin että vanhoihin ratoihin. RATO 3:ssa kuvattu kuormakaavio LM71 ja siinä käytettävät nauhakuorman arvot ovat ristiriidassa uuden EN-järjestelmän vastaaviin verrattuna. Tämä johtuu siitä, että nauhakuorman arvot perustuvat nykyisin Suomessa käytössä olevaan kalustoon, jossa akselien paikat ovat kauempana päädyistä. Tätä on käsitelty tämän julkaisun luvussa 5. RATO mitoituksessa uusien ja vanhojen ratojen kuorma on sama, mutta vaadittu varmuustaso eri [10.]

RATO 3:ssa ei varsinaisesti kuvata ratojen luokittelua vaan ohjeessa keskitytään radan mitoitukseen. RATO 1:ssä puolestaan perehdytään rataverkon luokitukseen ja ohjeessa kuvataan päällysrakenneluokat, niiden mukaiset sallitut akselipainot ja nopeudet. RATO 1 on kuitenkin jo aikansa elänyt (esimerkiksi puhutaan vielä rataluokista ja ei tunne päällysrakenneluokkaa D) ja sitä ollaankin parhaillaan päivittämässä vastaamaan nykytilannetta. Lisäksi RATO:n osassa 11 kuvataan päällysrakennetta sekä päällysrakenneluokkia.

RATO:n osien lisäksi rataverkon luokittelua kuvaavia teoksia ovat esimerkiksi Ratahallintokeskuksen (RHK) julkaisut *Rataverkon kuvaus* sekä *Verkkoselostus*. Lisäksi olemassa olevan penkereen mitoituksessa käytetään RHK:n julkaisua *B15, Radan stabiliteetin laskenta, olemassa olevat penkereet*.

3.3 Yhteentoimivuuden tekninen eritelmä (YTE), infrastruktuuriosajärjestelmä

Yhteentoimivuuden teknisten eritelmien (*technical specification for interoperability*) osa *tavanomaisen rautatiejärjestelmän infrastruktuuriosajärjestelmä* kuvaa Euroopan tavanomaisen (max 200 km/h) rautatiejärjestelmän yhteisiä vaatimuksia. Kyseisen infrastruktuuriin painottuvan YTE:n lyhenteenä käytetään suomalaisittain Infra-YTE (lyhenne englanniksi TSI-Infra). Muita Yhteentoimivuuden teknisiä eritelmiä ovat esimerkiksi telematiikkaa, melua, liikkuvaa kalustoa (tavaraliikenne, henkilöliikenne) tai opastinlaitteita ja -järjestelmiä käsittelevät kokonaisuudet. Yhteentoimivuuden tekniset eritelmit perustuvat Euroopan Unionin antamiin direktiiveihin ja ne on jaoteltu suurten nopeuksien rautatiejärjestelmän (HS) ja tavanomaisen rautatiejärjestelmän (CR) mukaan [8.] Infra-YTE pohjautuu direktiiviin 2008/57/EY rautatiejärjestelmän yhteentoimivuudesta yhteisössä [7].

Infra-YTE:ssä käydään läpi radan tärkeimmät tekniset järjestelmät ja parametrit sekä raiteiden ja laitteiden ominaisuudet, kuten esimerkiksi raiteen kallistukset sekä kiskon hamaran (kiskon yläosa) profiili. YTE:n perimmäinen tarkoitus on yhtenäistää Euroopan rautatieverkko siten, että liikenne yli rajojen voitaisiin sallia. Tähän työkaluina käytetään muun muassa yhtenäistä mitoitus- ja luokitusta. Näin jokaisessa maassa voitaisiin ajaa samanlaisella kalustolla samoilla nopeus- ja akselipainorajoituksilla. Vaikka rataverkkoa yritetään yhdistää, on YTE:ssä myös kansallisia erityistapauksia. Näitä erityistapauksia ovat esimerkiksi Suomen osalta raideleveyteen, pienimpään vaakasuoraan kaarevuussäteeseen S-kaarteissa sekä aukean tilan ulottumaan liittyvät poikkeukset. [7]

Infra-YTE:n voimaan tulon myötä vuonna 2011 rataa koskeva ohjeistus muuttuu. Euroopan rataverkon yhtenäistämisen prosessin seurauksena YTE ohjaa käyttämään uusien ratojen suunnittelussa eurokoodin SFS-EN 1991-2 mukaista junakuormaa (esimerkiksi kuormakaavio LM71) ja vanhojen ratojen suunnittelussa SFS-EN 15528 mukaisia junakuormia (SFS-EN 15528 Liite A). Tämä aiheuttaa muutoksia kansallisiin ohjeisiin ja uusien ja vanhojen ratojen kuormakaavioiden/kuormien erittelyyn EN-järjestelmän mukaisiksi. Lisäksi nykyisen rataverkon luokitteluperusteet muuttuvat YTE:n kautta SFS-EN 15528:n mukaisiksi.

3.4 Standardi SFS-EN 15528

SFS-EN 15528 *Railway application – Line categories for managing the interface between load limits of vehicle and infrastructure* on CEN:in (European Committee for Standardization), Euroopan standardisointijärjestön julkaisu, joka käsittelee ratojen infrastruktuurin ja rautatiekaluston luokittelua. SFS-EN 15528 kuvaa luokittelutavat, joilla olemassa olevat ja uudet radat sekä rautatiekalusto luokitellaan. Luokittelu tapahtuu kalustoyksiköiden kuormarajoitusten ja tavaravaunujen hyötykuormarajoitusten sekä radan pystysuuntaisten kuormien kantokapasiteetin avulla. *Infrastruktuurilla* käsitetään tässä standardissa, kuten myös YTE:ssä sekä SFS-EN 1991-2:ssa radan pohja-, alus- ja päällysrakennetta [5.]

SFS-EN 15528:n liitteessä A kuvataan rataluokat ja rataluokkien mukaiset kuormitustapaukset. Kyseiset rataluokat perustuvat referenssivaunujen kuormitustapauksiin. Lisäksi SFS-EN 15528:sta löytyy omat taulukkonsa veturien kuormitustapauksille ja niiden mukaisille veturiluokille. Rataluokat on esitetty tämän julkaisun luvussa 5.5.1. Yleisesti SFS-EN 15528 käsittelee radan kykyä kantaa sille tuleva kuorma ja se huomioi sekä sillat, penkereet että pohjamaan, vaikka se pääasiassa on tarkoitettu siltojen mitoittamiseen [5.]

SFS-EN 15528 perustuu UIC 700 määrelehteen, jonka varhaisessa historiassa lienee yhtymäkohta Ratahallintokeskuksen päällysrakenneluokkiin. UIC 700 määrelehdessä kuvataan olemassa olevien ratojen kuormakaaviot samalla periaatteella kuin SFS-EN 15528:ssa (Liite A) [11.]

UIC (Union Internationale des Chemins de fer) on kansainvälinen rautatiejärjestö, johon myös Liikenneviraston Rautatieosasto (entinen Ratahallintokeskus) kuuluu. UIC:n määrelehdet (Leaflets) ovat rautatieverkon yhtenäistämiseen tähtääviä ohjeita. Niissä kuvataan kalustoa sekä rakennetta, ja niiden pohjalta on luotu EN-standardijärjestelmän ohjeita. Vanhat UIC:n määrelehdet on osittain jo korvattu tai tullaan korvaamaan vähitellen EN-standardeilla. EN-standardeja voidaan puolestaan käyttää pohjana YTE:iä laadittaessa [11.]

Tarkempi selostus SFS-EN 15528:n kuormista ja laskentaperusteista on esitetty luvuissa 4.5.2 ja 5.3.

3.5 Standardi SFS-EN 1991-2

Eurokoodi SFS-EN 1991-2 on tarkoitettu nimensä mukaisesti (Traffic loads on bridges) siltojen mitoittamiseen. Standardin kohdassa 6.3.6.4 Equivalent vertical loading for earthworks and earth pressure effects (maarakenteita ja maanpaineen vaikutuksia koskeva ekvivalentti pystykuormitus) ohjeistetaan käyttämään myös maarakenteissa pystykuormituksen ekvivalentteina (samanarvoisina) ominaisarvoina kuormituskaavio LM71:tä tai SW/2:tä. Standardissa ei puhuta muuten maarakenteiden mitoittuksesta, vaan pääasiassa keskitytään siltojen mitoittamiseen. Koska Suomessa on paljon haastavammat pohjaolosuhteet verrattuna suurimpaan osaan muusta Euroopasta, joudutaan kyseisen standardin kohdan perusteella hyödyntämään kuormituskaavioita LM71 ja SW/2 tavallisen maanvaraisen rata-rakenteen suunnittelussa. SFS-EN 1991-2:ssa kuvattu kuormakaavio LM71 on esitetty alun perin UIC:n määrelehdessä 702 ja sen laskentaperusteita on määrelehdessä UIC 776-1 [11.]

SFS-EN 1991-2:ssa kuvataan yleisesti tiesiltojen, kävely- ja pyöräilysiltojen sekä ratasiltojen kuormitustapauksia ja rakenteiden tapahtumia. Jokaisesta siltatyypistä on omat lukunsa ja jokaiselle siltatyypille on annettu omat kuormitustapauksensa. Infra-YTE:ssä esitetään käyttämään uusien rakenteiden suunnittelussa SFS-EN 1991-2:n kuormakaaviota LM71.

Tarkempi kuvaus kuormakaaviosta LM71 on tämän julkaisun luvussa 5.2.

4 Ratojen luokitus

Suomessa radat on luokiteltu päällysrakenneluokan mukaan luokkiin A, B₁, B₂, C₁, C₂ ja D sekä alusrakenneluokkiin 0, 1, 2, 3 ja 4. Lisäksi päällysrakenneluokat ovat ilman sen tarkempaa tarkastelua, jopa hieman virheellisesti, yhdistetty suoraan päällysrakenteen kantavuuden mukaisesti kansainvälisen rautatiejärjestön UIC:n luokkiin C4, D4 ja D4 / E4 (ks. luvut 4.1 – 4.5). UIC-luokitus perustuu määrelehden UIC 700 (1. painos julkaistu vuonna 1953) mukaiseen mitoittukseen ja kuorma-kaavioihin. Kyseisen määrelehden pohjalta on tehty standardin SFS-EN 15528 mukainen rataluokitus, joka määrittelee tulevaisuudessa rataluokat ja jota käsitellään tässä julkaisussa.

Taulukko 1. Suomessa käytössä olevat päällysrakenneluokat A-D ja siitä suoraan johdetut eurooppalaiseen mitoittukseen perustuvat rataluokat C4-E4 [3, s.97].

Luokat		Päällysrakenne		
Liikennevirasto päällysrakenneluokka	Rataluokka SFS-EN 15528	Kiskot	Ratapölkkyt	Tukikerros
A	C4	K30, K33	puu	raidesora tai vastaava
B ₁	D4	K43, 54 E1, K60, 60 E1	puu	raidesora tai vastaava
B ₂	D4	K43, K60	puu, betoni	raidesepeli
C ₁	D4 / E4	54 E1	puu, betoni ennen 1987 valmistunut	raidesepeli
C ₂	D4 / E4	54 E1	betoni 1987 ja jälkeen valmistunut	raidesepeli
D	D4 / E4	60 E1	betoni	raidesepeli

Nykyisellään vanha päällysrakenteeseen perustuva suomalainen luokittelukäytäntö ei sovellu suoraan SFS-EN 15528 -luokitukseen. Kuten taulukosta 1 nähdään, päällysrakenneluokat on suoraan yhdistetty suurimman akselipainon ja RATO:n osassa 1 mainitun metripainon mukaan standardin SFS-EN 15528 luokitukseen. Nykyisen päällysrakenneluokan ja uuden EN-rataluokan suorasta yhdistämisestä seuraa se, että eurooppalaisen mitoituksen mukainen kalusto saa ajaa Suomen rataverkolla vapaasti SFS-EN 15528:n sallimilla akselipainoilla, vaikka todellisuudessa tietyillä rataosuuksilla näin ei pitäisi olla.

Syy siihen, minkä takia nykyisiä radan luokitusmenetelmiä (alus- ja päällysrakenneluokat) ja uutta luokitusta ei voi yhdistää suoraan on se, että uuden luokituksen (SFS-EN 15528) mukaiset kuormat ovat suuremmat verrattuna nykyisiin kuormiin. Näin ollen mitoituksessa käytettävät kuormat kasvavat. Kalustoteknisenä tekijänä akselien sijoittaminen lähemmäksi vaunun päätyjä kuormittaa rakenteita enemmän samoilla akselipainoilla kuin nykyinen kalusto. Lisäksi nykyinen päällysrakenneluokitus huomioi kuorman vain päällysrakenteen osalta, kun taas uusi luokitus ottaa kuormat huomioon koko ratarakenteen osalta mukaan lukien alusrakenteen, sillat, pohjarakenteet sekä pohjamaan.

Seuraavissa luvuissa on kuvattu nykyistä luokitusta ja sen kehittymistä sekä uusia EN-standardien mukaisia rataluokkia.

4.1 Nykyisen luokituksen kehittyminen

Akselipainot ja kaluston akselivälit ovat muuttuneet aikojen saatossa siten, että akselipainot ovat kohonneet huomasti viimeisen 50 vuoden aikana ja kaluston akselivälit pidentyneet ja etäisyys vaunun päätyyn lyhentynyt. Ennen sotia ratojen kaluston akselipainoissa puhuttiin 2-akselisilla vaunuilla suuruusluokan 8-10 tonnia arvoista. 1950-luvulla kaluston akselipainot liikkuivat jo 15 tonnissa, 1960-luvulla ne olivat kohonneet 20 tonniin, 1980-luvulla 22,5 tonniin ja nyt viimeisten 20 vuoden aikana on alettu puhua jo 25–35 tonnin sallituista akselipainoista. Tämä akselipainojen kehitys on aiheuttanut rataverkolle kasvavia vaatimuksia kestävyyskannalta. Tämä on omalta osaltaan myös kehittänyt ratojen luokitusta ja mitoitus-

Tällä hetkellä ratojen luokittelusta saatava luotettava historia-tieto alkaa noin 1960-luvulta eteenpäin. Ennen tätä kulkunopeuksia rajoittivat kiskopainot (mitä painavampi kisko, sitä suurempi nopeus), radan kaltevuus, junan pituus sekä erikoisrajoitukset tietyillä rataosuuksilla, esimerkiksi rantaradalla (Aikataulukirjan B-osan mukaan vuodelta 1924) [17.] Nykyisillä päällysrakenneluokilla ja tulevilla EN-rataluokilla on ilmeisesti ollut aikoinaan sama lähtöpiste, josta ne ovat sitten eriytyneet kohtalaisen paljon aikojen saatossa. Tätä samaa lähtöpistettä ei kuitenkaan pystytty määrittämään tässä julkaisussa.

Aikoinaan, ennen rataluokka-nimitystä, Suomen rataverkko oli luokiteltu erilaisiin rataryhmiin. Rataryhmät ovat olleet nykyisten päällysrakenneluokkien kaltaisia 1960-luvun alkupuolelta saakka. Vuonna 1964 luokitus näytti taulukon 2 kaltaiselta (Aikataulukirjan A-osan 1961, muutettu 1964, mukaan).

Seuraavat taulukot koskevat tavaraliikennettä. Matkustajaliikenteessä ei perinteisesti ole kiinnitetty huomiota akselipainoihin, lukuun ottamatta joidenkin vetureiden kulku- ja nopeusrajoituksia [11].

Taulukko 2. Rataluokitus vuonna 1964 oli alla olevan taulukon mukainen. [16]

Radan luokitus		Kiskopaino	Tukikerros	Tavallinen tavarajuna		Erikoistavarajuna	
Uusi	Entinen			Akselipaino (t)	Nopeus (km/h)	Akselipaino (t)	Nopeus (km/h)
—	A	K22, K25	sora	12,5	60	—	—
A	B	K30, K33	sora	15	60	13	80
B	C	K43	sora	20	60	18	90
			sepeli	20	75	18	100
C	C	K54, K60	sepeli	22	75	18	100

Jo vuonna 1969 rataryhmä B₁ kuvasi soraratoja ja B₂ sepeliratoja. Ylin luokka oli tuolloin C. Suurin akselipaino A-luokan radoilla oli 15 tonnia, B₁-luokan sekä B₂-luokan radoilla 20 tonnia ja C-luokan radoilla 22 tonnia (taulukko 3). C-ratojen akselipaino 22 tonnia oli käytössä vain neuvostoliittolaisella kalustolla. Nopeudet olivat nykyiseen tapaan riippuvaisia akselipainoista [22.]

Taulukko 3. Rataryhmät vuonna 1969. [18]

Rataryhmä	Suurin		Suurin		Suurin	
	aks. paino (t)	nopeus (km/h)	aks.paino (t)	nopeus (km/h)	aks.paino (t)	nopeus (km/h)
A ¹⁾	15	60	13	80		
B ₁	20	60	18	90	16	95
B ₂	20	75	18	100	16	120
C	22	75	18	100	16	120

¹⁾ Säännöllisessä liikenteessä sallittiin joillakin rataosuuksilla ylikuormia 17 tai 20 tonnin akselipainoon saakka alennetulla nopeudella ja kaikilla radoilla tilapäisesti 17 tonnia 35 km/h 20 tonnisilla telivaunuilla nopeudella 20 km/h.

Vuoden 1981 rataryhmät olivat hyvin samankaltaiset kuin vuonna 1969. Ainoat muutokset liittyivät B₂- ja C-luokkiin, joissa nopeutta tai akselipainoa oli paikoittain kasvatettu.

Taulukko 4. Vuoden 1981 rataryhmillä sallitut nopeudet. [19]

Rataryhmä	Suurin		Suurin		Suurin	
	aks.paino (t)	nopeus (km/h)	aks.paino (t)	nopeus (km/h)	aks.paino (t)	nopeus km/h)
A	15	60	13	80		
B ₁	20	60	18	90	16	95
B ₂	20	80	18	100	16	120
C	22	80	20	100	18	120

Vuonna 1982 ryhmä C jaettiin 2 osaan, kun radan suurin nopeus saattoi olla yli 120 km/h. Syntyi C₁ ja C₂ luokat, joista C₂-ratojen nopeudet olivat yli 120 km/h [22].

Vuonna 1987 rataryhmä-nimitys muutettiin rataluokaksi. Lopullisesti vuonna 2002 siirryttiin nykytilanteeseen, jossa rataluokat alkoivat tarkoittaa ainoastaan päällysrakenteen laatua. Rataluokka-nimitys muutettiin vuonna 2008 päällysrakenneluokaksi ennakoiden YTE-rataluokkia [22.]

Taulukko 5. Vuoden 1987 rataluokkien sallitut nopeudet. [15]

Rataryhmä / -luokka	Suurin		Suurin		Suurin	
	aks.paino (t)	nopeus (km/h)	aks.paino (t)	nopeus (km/h)	aks.paino (t)	nopeus (km/h)
A	16	50				
B ₁	22,5	50	20	60	16	100
B ₂	22,5	80	18	100	16	120
C ₁ , C ₂			22,5	100	20	120

Nykyinen päällysrakenteeseen pohjautuva luokittelu on taulukon 6 mukainen. C₁- ja C₂-luokan radat ovat eritelty toisistaan ja vuonna 2002 mukaan lisättiin päällysrakenneluokka D.

Taulukko 6. Vuoden 2009 päällysrakenneluokat ja niiden mukaiset rajoitukset ennen EN-standardien voimaan tuloa näyttävät tältä. [21]

Päällysrakenneluokka	Matkustajajunan suurin sallittu nopeus (km/h)	Tavarajunan suurin	
		Aks.paino (t)	Nopeus (km/h)
A	70	16	50
B ₁	100	16	100
		20	60
		22,5	50
B ₂	110	16	110
		20	90
		22,5	80
C ₁	160 (puuratapölkyt), 180 (betoniratapölkyt)	20	120
		22,5	100
		25	60
C ₂	200	20	120
		22,5	100
		25	80
D	220	20	120
		22,5	100
		25	100

4.2 Nykyinen luokitus

Suomessa ratojen luokittelu on jaettu nykyisellään alus- ja päällysrakenteen ominaisuuksien perusteella alus- ja päällysrakenneluokkiin. Näistä kahdesta rataverkko on luokiteltu päällysrakenneluokkiin rataosittain. Päällysrakenneluokat antavat maksimiarvot kaluston sallituille akselipainoille ja akselipainojen mukaisille nopeuksille. Kuten luvun 4.1 historia-osiossa on mainittu, nykyiset päällysrakenneluokat kulkivat vielä muutama vuosi taaksepäin rataluokka-nimellä. Vanhat rata-ryhmät ovat muodostaneet päällysrakenteeseen pohjautuvan rataluokituksen perusteet. Suomen rataverkon luokittelu pohjautuukin tällä hetkellä päällysrakenneluokkiin.

Alusrakenneluokilla puolestaan kuvataan radalle sallittavaa akselipainon mukaista nopeutta pengerleveyden kautta eikä se suoraan kerro raiteen kantavuutta. Sekä alusettä päällysrakenneluokat pohjautuvat radanpidon ohjeisiin [23].

Uusien ratojen suunnittelussa ja vilkkaimpien vanhojen ratojen parannuksissa pyritään nykyisen luokituksen mukaan päällysrakenneluokkaan D. Päällysrakenneluokissa ilmaistaan päällysrakenteen kantokyky akselikuormia vastaan sekä junan sallittu nopeus. Päällysrakenneluokituksessa on huomioitu erikseen henkilövaunut ja tavaravaunut.

Huomattava ero nykyisen ja uuden luokituksen välillä ovat ratojen luokitteluperusteet. Nykyisessä luokitusmenetelmässä radat ovat luokiteltu itse rakenteen mukaan, kun taas uudessa luokituksessa huomioidaan rakenteen lisäksi myös pohjamaan kantavuus eri kuormitustapauksissa. Lisäksi tuleva eurooppalainen luokitus kuvaa ratojen kuormitettavuutta ja sallittua liikennekuormaa, kun taas suomalainen päällysrakenneluokittelu kuvaa kiskoja, pölkkyjä ja tukikerrosta. Näin ollen vanhaa RATO-luokitusta ja uutta eurooppalaista EN-standardeihin pohjautuvaa luokitusta ei voida edes verrata toisiinsa.

Nykyisessä alus- ja päällysrakenneluokituksessa jaotellaan henkilövaunut ja tavaravaunut eri kategorioihin. Henkilövaunuilla suurimmat luokittelukriteerit liittyvät nopeuksiin, kun taas tavaravaunuilla otetaan huomioon sekä akselipaino että sallittu nopeus. Toki henkilövaunuillakin otetaan huomioon akselipainot, mutta ne eivät yleensä nouse niin suuriksi, että ne häittäisivät junan liikennöintiä sallitulla nopeudella.

Poikkeuksiakin on: kaksikerroksiset henkilövaunut, joiden akselipaino on enimmillään 19,5 tonnia, ylittävät YTE:n minimiarvon (YTE:n liite E) sallitun akselipaino-nopeuskombinaation, kun ajetaan 200 km/h. Näiden liikennöintinopeuksiin ei ole kuitenkaan puututtu [22.]

4.3 Päällysrakenneluokitus

Rataverkko Suomessa on tällä hetkellä jaoteltu päällysrakenneluokkiin A, B₁, B₂, C₁, C₂ ja D siten, että luokan A radoilla on pienimmät nopeusrajoitukset ja pienimmät sallitut akselipainot. Luokan A radoilla tämä tarkoittaa sitä, että akselipainon suhteen maksimiarvo on 16 tonnia ja suurin sallittu nopeus tavarajunilla on 50 km/h ja henkilöjunilla 70 km/h. Luokan D radat ovat puolestaan luokiteltu parhaimmiksi teknisiltä ominaisuuksiltaan taulukon 7 mukaan. Päällysrakenteen osalta Suomen rataverkko on jaettu rataosa rataosalta eri luokkiin liitteen 1 taulukoiden mukaisesti.

Päällysrakenneluokat kertovat päällysrakenteen kyvyn kantaa kuormia eikä se huomioi sen alapuolisia rakenteita. Lisäksi sillä ilmaistaan minkälaisen liikenteen rata ja sen rakenteet sallivat.

4.3.1 Päällysrakenteen laatu

RATO 11, *Radan päällysrakenne*, määrittää päällysrakenteen mitoitusperusteet ja laadun (tukikerros, raide). Raiteet on suunniteltava, rakennettava ja ylläpidettävä siten, että raide kantaa sille tulevan liikennekuorman ja että raiteen vakaus ei vaarannu [2, s. 11.]

Tukikerroksen materiaali on yleensä raidesoraa tai raidesepeliä. Nykyisessä päällysrakenneluokituksessa huomioidaan vain raidesoralla tai -sepelillä rakennetut raiteet [1, s. 7.]

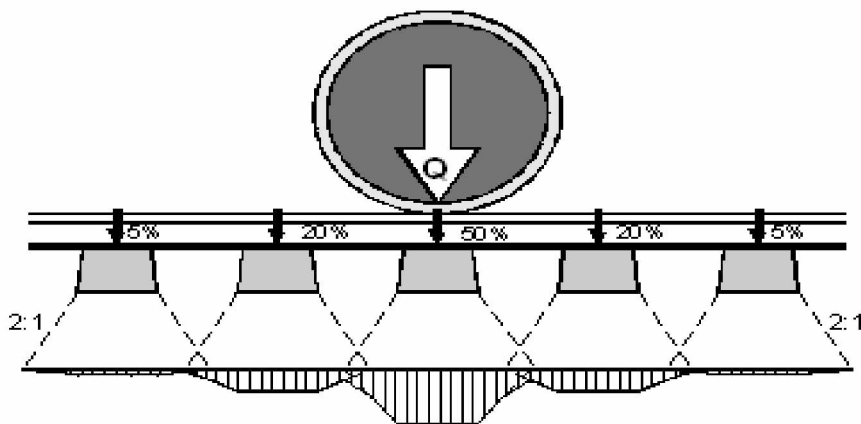
Tukikerroksen mitat määräytyvät päällysrakenneluokan, kiskonpituuden, suurimman sallitun nopeuden, tukikerroksen materiaalin ja pölkkytyypin mukaan. Tukikerroksen mitat määräytyvät RATO 11 taulukon 11.3:7 mukaan [2, s. 15–17.]

Kiskojen laatu ja luokitus huomioidaan päällysrakenneluokissa. Mitä painavampi ja parempilaatuisempi kisko on, sitä suurempia voivat olla kulkunopeudet ja akselipainot. Aikoinaan rataryhmät ja niiden sallitut kuormat pohjautuivat kiskojen painoon.

Suomessa ratakiskon muoto ja materiaali on optimoitu siten, että sekä kiskon että sillä kulkevan pyörän käyttöiät olisivat mahdollisimman pitkät. Suomen raiteissa käytetään pääasiassa leveäjalkaista eli Vignole-kiskoprofiilia. Poikkeustapauksissa esimerkiksi kuormauskentillä myös urakiskoprofiili on mahdollinen. Eurooppalaisen standardisointijärjestön (CEN) standardisoimia kiskoprofiileja merkitään kiskon massan ilmoittavalla luvulla, kirjaimella E ja kyseessä olevan standardin määrittävällä versioluvulla. Esimerkiksi kiskoprofiili 60 E1 tarkoittaa siis sellaista kiskoja, jossa kiskon paino on noin 60 kilogrammaa metriä kohti ja se on esitetty eurooppalaisessa standardissa versiona 1 saman painoluokan kiskoista [2, s. 33.]

Vanhempia kiskoprofiileja, jotka eivät ole tehty CEN-standardien mukaan, merkitään K-kirjaimella ja numerolla, jossa numero ilmoittaa kiskon massan metriä kohden kilogrammoissa pyöristettynä kokonaisluvuksi (esim. K43) [2, s. 33].

Ratapölkkyjen materiaali on pääasiassa puuta tai betonia, mutta myös terästä voidaan käyttää pölkky materiaalina. Ratapölkkyt välittävät pyöräpaineista kiskoille aiheutuvat kuormat tukikerrokseen. Yhden pyörän paino, joka vaikuttaa yhteen pisteeseen kiskoilla välittyy kiskon taivutusmomentin ja taipuman mukaan 5-7 pölkylle. Tästä määräytyy myös RATO:n osassa 3 esitetty pystysuorien kuormien jakaantuminen [2.]



Kuva 3. Pystysuoran junakuorman jakaantuminen ratapölkkyistä ratapenkereeseen voidaan olettaa olevan kuvan 1 mukainen. Q = dynaaminen pyöräkuorma. [1, s.24]

Nykyisen päällysrakenneluokituksen mukaan alimmissa luokissa pölkkyjen materiaali on puuta, kun taas korkeimmissa se on betonia taulukon 7 mukaan.

4.3.2 Päällysrakenneluokituksen sallitut nopeudet sekä akselipainot

Nykyisessä päällysrakenneluokituksessa annetaan maksimiavot junien nopeuksille ja akselipainoille eri rataosuuksilla. Vaikka luokka olisikin sama, voi eri osuuksilla olla sallittu nopeus erilainen kuin toisaalla. Pääratojen suurimmat sallitut nopeudet eri

akselipainoilla on kuvattu rataosittain Ratahallintokeskuksen julkaisussa *Rataverkon kuvaus* luvussa 3.3 sekä tämän työn liitteenä 1 olevassa samassa taulukossa.

Taulukossa 7 on puolestaan kuvattu yleisesti nykyisten päällysrakenneluokkien sallitut akselipainot sekä sallitut nopeudet. Radan suurin nopeus riippuu mm. seuraavista tekijöistä:

- liikenteellinen tarve (tavaraliikenneradalla ei tarvitse päästä yli 80 / 100 km/h)
- turvalaitevarustus (JKV eli junakulunvalvonta vaaditaan, kun nopeus on yli 80 km/h)
- tasoristeykset (nopeus enintään 140 km/h)
- päällysrakenneluokka
- alusrakenneluokka (alusrakenteen laatu)
- kunnossapitotaso
- radan geometria (kaarteisuus ja kallistukset)
- vaihteet
- sillat
- tunnelit.

Lisäksi kulkunopeuksia voidaan rajoittaa erikoistapauksissa muilla rajoituksilla esimerkiksi ratatöiden tai kelinäköolosuhteiden takia.

Taulukko 7. Suurin sallittu nopeus ja akselipaino nykyisille päällysrakenneluokille suoralla radalla. Taulukossa on myös kuvattu päällysrakenneluokkien mukaiset materiaalien (kiskot, pölkyt, tukikerros) laatuvaatimukset. [21]

Päällysrakenneluokka	Päällysrakenne			Matkustajajunan suurin sallittu nopeus (km/h)	Tavarajunan suurin sallittu	
	Kiskot	Ratapölkyt	Tukikerros		Akselipaino (t)	Nopeus (km/h)
A	K30 tai K33	Puu	Raidesora tai vastaava	70	16	50
B ₁	K43, 54E1, K60 tai 60 E1	Puu	Raidesora tai vastaava	100	16 20 22,5	100 60 50
B ₂	K43 tai K60	Puu tai betoni	Raidesepeli	110	16 20 22,5	100 60 50
C ₁	54E1	Puu tai betoni (ennen v 1987 valmistetut)	Raidesepeli	160 (puuratapölkyt) 180 (betoniratapölkyt)	20 22,5 25	120 100 60
C ₂	54E1	Betoni (v. 1987 ja sen jälkeen valmistetut)	Raidesepeli	200	20 22,5 25	120 100 80
D	60E1	Betoni	Raidesepeli	220	20 22,5 25	120 100 100

Taulukon 7 lisäksi vaihteille ja raideristeyksille on omat nopeusrajoituksensa, jotka ovat esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Sallittu nopeus vaihteissa ja raideristeyksissä [3, s. 108]

	Päälysrakenneluokka					
	A	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	D
Suora raide						
Yksinkertaiset vaihteet, 60 E 1 lyhyet	70	100	110	180	200	200
Yksinkertaiset vaihteet, 60 E 1 pitkät	—	100	110	180	200	220
Yksinkertaiset vaihteet, 54 E 1 pitkät	70	100	110	140	140	140
Yksinkertaiset vaihteet, muut	70	100	110	160	160	160
Kaksoisvaihteet	70	100	110	120	120	120
Risteysvaihteet	35	90	90	90	90	90
Raideristeykset	35 ¹⁾	90 ¹⁾	90 ¹⁾	90 ¹⁾	90 ¹⁾	90 ¹⁾
Poikkeava raide						
Lyhyet vaihteet R = 165 m	20 ¹⁾	20 ¹⁾	20 ¹⁾	20 ¹⁾	20 ¹⁾	20 ¹⁾
Lyhyet vaihteet	35	35	35	35	35	35
Lyhyet vaihteet, kun akselipaino on yli 22,5 t	—	10	20	20	20	35
Pitkät vaihteet						
R = 500 m	—	—	—	60	60	60
R = 530 m	70	70	70	—	—	—
R = 900 m, akselipaino enintään 22,5 t	—	80	80	80	80	80
R = 900 m, akselipaino yli 22,5 t	—	—	—	60	60	60
R = 1600 m	—	—	—	110	110	110
R = 2500 m	—	—	—	140	140	140
R = 3000 m	—	—	—	—	—	160
Varmuuslukituksesta riippumaton vaihde						
Suora ja poikkeava raide	30 ¹⁾	30 ¹⁾	30 ¹⁾	30 ¹⁾	30 ¹⁾	30 ¹⁾
Aukiajettava vaihde	30	30	30	30	30	30

1) Merkitty nopeusmerkein

Itse päälysrakenneluokkaan vaikuttavat taulukon 7 mukaisesti kiskojen, rata-pölkkyjen ja tukikerroksen materiaalit. Mitä laadukkaampia ovat päälysrakennemateriaalit, sitä korkeampi voi olla luokka.

4.4 Alusrakenneluokat

Koska päälysrakenneluokitus kuvaa vain ratarakenteen päälysrakenteen laatua, on nykyään rataa suunniteltaessa otettu huomioon myös alusrakenne. Alusrakenneluokat mitoituksen kannalta ovat 0, 1, 2, 3 ja 4. Alusrakenneluokilla taataan rakenteen routimattomuus rakenteen paksuuden ja/tai routaeristeen avulla sekä riittävä kestävyys pengerialueiden avulla [1, s. 33.]

Rataverkkoa ei kuitenkaan voida jaotella rataosuuksittain alusrakenneluokkiin samalla tavalla kuin päälysrakenneluokat on jaoteltu, koska aikaisemmin ratoja rakennettaessa ei kiinnitetty numeerista huomiota alusrakenteeseen ja sen kantavuuteen tai maapohjan kantavuuteen. Tuolloin mitoitus tapahtui pitkälti kokemuspohjaisesti ja radan linjauksia tehtäessä pyrittiin saavuttamaan massatasapainon kannalta parhaat ratkaisut. Lisäksi alusrakenteen ominaisuuksien tai varsinkin sen luokan määrittäminen jälkeenpäin on kohtuullisen hankalaa [11.]

Taulukko 9. Radan alusrakenneluokat ja niillä sallitut nopeudet [1, s. 33]

Alusrakenneluokka	Henkilöliikenteen suurin sallittu nopeus, V [km/h]	Tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus 225 kN akselipainolla, V [km/h]	Tavaraliikenteen suurin sallittu nopeus 250 kN akselipainolla, V [km/h]
0	≤ 50	≤ 40	≤ 40
1	≤ 120	≤ 100	≤ 60
2	≤ 200	≤ 100	≤ 80
3	≤ 250	≤ 120	≤ 100
4	> 250	> 120	> 100

Alusrakenneluokan määrää joko henkilö- tai tavaraliikenne riippuen siitä, kumman vaatimustaso on korkeampi. Jatkuvakiskoraiteisen (kiskon pituus on suurempi kuin 300 metriä) radan alusrakenteen on oltava aina vähintään luokan 1 mukainen [1, s. 33.]

Alusrakenneluokkaan vaikuttavia tekijöitä ovat pengerleveys sekä routamitoitus. Pengerleveydellä tarkoitetaan alusrakenteen ylimmän kerroksen leveyttä. Mitä suurempi nopeus ja akselipaino, sitä suurempi vaatimus on pengerleveydelle. Rakenteen paksuuden puolestaan määrittää routimattomuus. Suomessa käytössä olevat routivuuden ehkäisemiseksi tarvittavat rakennepaksuudet on esitetty RATO 3:ssa [1.]

Taulukko 10. Radan alusrakenneluokan, raiteiden lukumäärän, raidevälin, akselipainon ja mitoitusnopeuden perusteella määntyvät pengerleveyden minimimitat. [1, s. 34] Yläviitteiden merkitys on esitetty liitteessä 3.

Raiteiden luku- määrä ¹⁾	Radan alus- rakenne- luokka	Penger- leveys [m]		Raide- väli [m]	Henkilö- liikenteen suurin sallittu nopeus V [km/h]	Tavara- liikenteen suurin sallittu nopeus 225 kN akseli- painolla [km/h]	Tavara- liikenteen suurin sallittu nopeus 250 kN akseli- painolla [km/h]
		Suo- ralla	Kaar- teessa				
1	0	5,4 ⁶⁾	5,4 ⁶⁾	—	≤ 50	< 40	≤ 40
1	1	5,4 ⁶⁾	5,4 ⁶⁾	—	≤ 120	≤ 80	≤ 50
1	1	6,0 ⁶⁾	6,0 ⁶⁾	—	≤ 140	≤ 100	≤ 60
1	2	6,0 ⁶⁾	6,8 ^{2) 6)}	—	≤ 200	≤ 100	≤ 80
1	3	6,8 ⁶⁾	7,2 ^{3) 6)}	—	≤ 250	≤ 120	≤ 100
2	1	9,5	9,5	4,1	≤ 120	≤ 80	≤ 50
2	2	10,3	11,1 ⁴⁾	4,3	≤ 200	≤ 100	≤ 80
2	3	11,3	11,7 ⁵⁾	4,5	≤ 250	≤ 120	≤ 100
2	4	12,5	12,5	4,7	> 250	> 120	> 100

4.5 Uusi EN-järjestelmän mukainen rata- luokitus

Euroopan rataverkon yhtenäistämisen seurauksena rataverkon luokitus, ratojen mitoitus ja ratojen luokat muuttuvat. Uusi luokitusmenettely perustuu Euroopan Unionin direktiiveihin ja niiden pohjalta tehtyihin luokitusta ja mitoitusta ohjaaviin julkaisuihin (Infra-YTE, SFS-EN 1991-2 sekä SFS-EN 15528). Yhtenäistämisestä seuraa se, että radat on luokiteltava uudelleen EN-standardien mukaisiksi (vrt. päällysrakenneluokat). Tällä hetkellä Liikenneviraston julkaisussa *F5 Verkkoselostus 2011* on päällysrakenneluokat yhdistetty EN-rataluokkiin akselipainon mukaan pitäen mielessä RATO 1:n metripaino 8 t/m. Ennen kuin luokituksen muutos on mahdollista, tulisi Suomen ratojen kantavuus tarkastaa uudestaan EN-järjestelmän mukaisesti ja

varmistaa näin ratojen kestävyys mitoituskuormien noustessa SFS-EN 15528 mukaisiksi.

Käytännössä Suomen nykyinen rataverkon luokitus perustuu päällysrakenteeseen. Kantavuuden kannalta radat on nykyisellään mitoitettu heikommiksi, mitä uudet ohjeet edellyttävät. Tämä johtuu pitkälti laskennassa käytettävän nauhakuorman arvoista.

Eurooppalaisessa luokituksessa päällysrakenteen vaatimukset on esitetty Infra-YTE:ssä ja todellisen kaluston kuormitustapaukset SFS-EN 15528:ssa. Koska SFS-EN 15528:n kuormitustapaukset ovat akselien sijoituksen johdosta kuormittavammat kuin nykyisen RATO-mitoituksen pohjana olevan olettamuksen kuormat, asettavat uudet EN-rataluokat suuremmat vaatimukset rataverkolle kuin vanhat. Tämä on osasy siihen, miksi nykyistä luokittelumenetelmää ei voida yhdistää suoraan uuteen luokitukseen.

4.5.1 Uudet rataluokat

Uudet EN-rataluokat ovat A, B1, B2, C2, C3, C4, D2, D3, D4, E4 ja E5. Nykyisessä päällysrakenneluokituksessa luokat määräytyvät päällysrakenteen mukaan luokasta A, luokkaan D. Uudessa systeemissä rataluokat määräytyvät sekä kirjaimen että numeron mukaan siten, että kirjain kertoo sallitun akselipainon ja numero sallitun metripainon. Akselipainoluokissa A on pienin ja se vastaa 16,0 tonnin akselipainoa. E on puolestaan suurin ja se vastaa 25,0 tonnin akselipainoa. Metripainoissa 1 on pienin (5,0 tonnia/metri) ja 5 suurin (8,8 tonnia/metri). Numerot A:sta E:hen ja niitä vastaavat akselipainoluokat ovat yleisimmät luokitustapaukset, joita käytetään ratojen ja kaluston mitoituksessa. Näiden luokkien lisäksi erikoisliikenne tai -kalusto voidaan luokitella harvinaisemmilla luokilla F ja G, jotka vastaavat akselipainoiltaan 27,5 tonnia (F) sekä 30,0 tonnia (G) [5, s. 22.] Rataluokat on esitetty taulukossa 15.

Nämä edellä esitetyt rataluokat koskevat SFS-EN 15528:ssa esitettyjen vaunujen kuormitustapausten mukaisia rataluokkia. Lisäksi SFS-EN 15528 antaa omat kuormitustapaukset vetureille ja näiden kuormitustapausten mukaiset rataluokat ovat L4 ja L6 sekä D4xL ja D6xL, joissa numero on veturin akseleiden lukumäärä [5.]

Huomattavaa uusissa EN-rataluokissa on se, että ne kuvaavat ratojen kuormitettavuutta eikä suomalaisittain päällysrakennetta.

Mitoituksen kannalta uudessa luokituksessa suurimman ongelman aiheuttaa kasvavan nauhakuorman suuruus. SFS-EN 15528 kuormitustapauksissa esitettyjen akselien geometristen sijoittamisten johdosta (läheimmäs päätyä ja näin ollen kauempana toisistaan yhdessä vaunussa) nauhakuorman laskennallisesta arvosta tulee suurempi ja siten samoja akselipainoja vastaavat rataluokat ovat päällysrakenneluokkia kuormittavammat. Myös uudet junat ovat rakenteita kuormittavampia verrattuna vanhaan kalustoon ja sen mukaan mitoitettuihin ja luokiteltuihin ratoihin. Tarkempi kuvaus laskennassa käytettävistä kuormista on esitetty luvussa 5.4.

4.5.2 Uuden rataluokituksen muodostava ohjekokonaisuus

Uuden rataluokituksen määrittävät rataverkon yhtenäistämistä varten luodut määräykset ja ohjeet Infra-YTE, SFS-EN 15528 sekä uusien ratojen mitoitusta ohjaava SFS-EN 1991-2, kuten jo aikaisemmin on tuotu esille. YTE:ssä annetaan radan toiminnallisille rakenteille ja laitteille vähimmäisvaatimukset, joiden mukaan

esimerkiksi ratakiskot ja -pölkkyt tulee valmistaa ja kiinnittää paikoilleen [7, s. 8.] Verrattuna RATO-luokitukseen yksi määräyskokoelma määrittää päällysrakenteen vähimmäislaadun kaikille luokille samanlaiseksi.

YTE ohjaa EN-standardien kautta luokitusprosessia. Sen mukaan rataluokat tai -tyypit jaetaan YTE-rataluokkaan ja EN-rataluokkaan. YTE-rataluokka kuvaa liikenne- ja ratatyyppin mukaista radan luokittelua, jonka avulla valitaan riittävän tasoinen suorituskypäparametri radalle. YTE-rataluokkia ovat IV, V, VI ja VII. Yleisesti YTE:ssä rataluokalla ilmaistaan radan *tärkeysaste* ja se, miten yhteentoimivuuden edellyttämät parametrit saavutetaan uusilla ja parannettavilla radoilla. Tärkeysaste kuvaa radan tärkeyttä liikennereittinä. Ratojen kuulumisen YTE-rataluokkiin määrittelee kukin jäsenvaltio EU:n koordinoitessa rajat ylittävien osuuksien luokittelua.

EN-rataluokalla tarkoitetaan puolestaan standardin SFS-EN 15528 liitteessä A (tämän julkaisun taulukko 15) määritellyn luokitteluprosessin (kuormakaaviot) tulosta ja se kuvaa infrastruktuurin ja / tai rakenteen kykyä kestää liikenteen pystysuoria kuormituksia.

YTE määrittää rataluokat 3 liikennetyyppiin (*Types of Traffic*) siten, että ensimmäisenä on matkustajaliikenne (*passenger*), toisena tavaraliikenne (*freight*) ja kolmantena sekaliikenne (*mixed*, yhdistetty tavar- ja henkilöliikenne). Lisäksi ratatypit (*Types of Line*) luokitellaan radan tärkeyden mukaan neljään luokkaan (taulukko 11).

Taulukko 11. YTE:n tavanomaisen rautatien infrastruktuuriosajärjestelmän mukaiset rataluokat. [7, s. 15]

TSI Categories of Line		Types of Traffic		
		Passenger traffic (P)	Freight traffic (F)	Mixed traffic (M)
Types of Line	New Core TEN Line (IV)	IV-P	IV-F	IV-M
	Upgraded Core TEN Line (V)	V-P	V-F	V-M
	New Other TEN Line (VI)	VI-P	VI-F	VI-M
	Upgraded Other TEN Line (VII)	VII-P	VII-F	VII-M

Taulukossa 11 IV-luokka tarkoittaa uutta tärkeää (*new core*) TEN-verkon rataa, V-luokka parannettua tärkeää (*upgraded core*) TEN-rataa, VI-luokka muuta uutta (*new other*) TEN-rataa ja VII-luokka muuta parannettua (*upgraded other*) TEN-verkon rataa. TEN-verkolla tarkoitetaan lyhykäisyydessään yleiseurooppalaisia liikenneyhteyksiä, joilla taataan ihmisten ja tavaroiden kulkuyhteydet Euroopassa.

Taulukon 11 mukaisia rataluokkia kuvataan seuraavilla suorituskypäparametreilla: ulottuma (*gauge*), akselipaino (*axle load*), radan sallittu nopeus (*line speed*) ja junan pituus (*train length*). YTE:n mukaan Euroopan laajuisen rautatiejärjestelmän *uudet* sekä *parannetut radat* on suunniteltava siten, että niiden suorituskypä on vähintään seuraavan taulukon 12 mukainen [7.]

Taulukko 12. Suorituskykyparametrit YTE-rataluokille. Ulottumat GA, GB ja GC ovat standardin EN 15273-3:2009 liitteessä C määritellyn mukaiset (ei käsitellä tässä julkaisussa). [7, s. 15–16]

		gauge	axle load [t]	line speed [km/h]	train length [m]
TSI Categories of Line	IV-P	GC	22.5	200	400
	IV-F	GC	25	140	750
	IV-M	GC	25	200	750
	V-P	GB	22.5	160	300
	V-F	GB	22.5	100	600
	V-M	GB	22.5	160	600
	VI-P	GB	22.5	140	300
	VI-F	GC	25	100	500
	VI-M	GC	25	140	500
	VII-P	GA	20	120	250
	VII-F	GA	20	100	500
	VII-M	GA	20	120	500

Kuten taulukosta 12 nähdään, uusien ohjeiden mukaan pienin sallittu akselipaino, jonka mukaan parannettavia ratoja voidaan suunnitella, on 20 tonnia, uusilla radoilla matkustajaliikenteellä 22,5 tonnia ja tavaraliikenteellä 25 tonnia. Rataluokkien sallitut nopeudet vaihtelevat riippuen siitä, minkä tyyppistä liikennettä (henkilö-, tavara- tai sekalainen liikenne) varten rataosuus on suunniteltu. Taulukosta 12 poiketen kansalliset ohjeet voivat kuitenkin sallia suurempia ulottumia, akselipainoja, nopeuksia sekä junan pituuksia, kunhan ne täyttävät muuten YTE:n vaatimukset [7.] Toinen merkittävä tekijä taulukosta 12 poiketen on YTE:n maininta, että ”tämän YTE:n vähimmäisvaatimusten mukaisesti suunniteltu infrastruktuuri ei mahdollista suorituskykyä, joka samanaikaisesti täyttää sekä enimmäisnopeuden että suurimman akselipainon vaatimukset. Infrastruktuuria voidaan käyttää enimmäisnopeudella vain akselipainon ollessa alle taulukossa 12 määritellyn suurimman arvon. Vastaavasti, jos käytössä on suurin akselipaino, infrastruktuurissa käytettyjen nopeuksien on oltava alle taulukossa 12 määritellyn enimmäisnopeuden” (käytetty tämän työn taulukkoa 12 YTE-tekstin kanssa) [7, s. 16]. Käytännössä tämä tarkoittaa siis sitä, että esimerkiksi suurinta akselipainoa käytettäessä ei voida samanaikaisesti käyttää suurinta määriteltyä nopeutta. Tästä johtuu taulukon 12 ja taulukon 14 luokkien IV-F ja E5 eri arvot.

YTE:n mukaan radan uudet rakenteet tulee suunnitella kestäämään pystysuuntaisia kuormituksia standardin SFS-EN 1991-2:ssa määritellyn kuormakaavio LM71:sen (ks. luvut 3.3 ja 5.2) mukaan. Huomioitavaa on, että kuormakaavio on tehty siltojen mitoitus varten, mutta jota hyödynnetään suomalaisessa mitoituksessa myös muissa (tavallisissa maanpäällisissä) rakenteissa. LM71:n kuormat tulee kertoa YTE:n mukaisella alfa-kertoimella (α) taulukon 13 mukaan. Taulukossa 13 alfa-kertoimelle on annettu minimiarvot, joilla toteutettuna rakenteet voidaan hyväksyä eri YTE-rataluokissa. Todellisuudessa kuitenkin käytetään suurempia arvoja vahvempia rakenteita tavoitellen ja näin ollen tähdäten tulevaisuudessa mahdollisesti edelleen kohoaviin vaatimuksiin. Suuremmat alfa-kertoimen arvot saadaan eurokoodista SFS-EN 1991-2. Tarkempi selostus alfa-kertoimesta on luvussa 5.2.

Taulukko 13. Alfa-kertoimen minimiarvot uusien rakenteiden suunnittelussa YTE-rataluokittain [7, s. 29]

Types of Line or TSI Categories of Line	Minimum factor alpha (α)
IV	1.1
V	1.0
VI	1.1
VII-P	0.83
VII-F, VII-M	0.91

Uuden rataluokituksen mukaan YTE ohjaa *olemassa olevien ratojen* suunnittelussa ja luokittelussa käyttämään standardin SFS-EN 15528 liitteen A kuormakaavioita sekä veturiluokituksessa liitteiden J ja K kuormia. YTE-rataluokat (kuvattu taulukoissa 11 ja 12) verrattuna SFS-EN 15528 mukaisiin kuormitustapausten rataluokkiin on nopeuksien avulla kuvattu YTE:n liitteessä E olevassa taulukossa 4 (taulukko 14 tässä julkaisussa). EN-rataluokka sekä veturiluokka perustuvat akselipainoon ja akseliväliin liittyviin geometrisiin näkökohtiin. Taulukko 14 kuvaa rakenteiden kantokykyä ja niiden vaatimuksia rataluokittain [7.]

Taulukko 14. YTE:n mukainen rataluokka ja sitä vastaava EN rataluokka ja rataluokan vähimmäismaksiminopeus. [7, s. 78–79] Kalustotyypit ovat jaettu taulukossa matkustajavaunuihin (mukaan lukien henkilö- ja matkatavaravaunut sekä autonkuljetusvaunut ja kevyet tavaravaunut), tavaravaunuihin ja muuhun liikkuvaan kalustoon, vetureihin ja moottorivaunuihin sekä sähkö- tai dieselmoottorijuniin (mukaan lukien vetokalusto ja kiskobussit). L4 ja L6 kuvaavat veturiluokkia. Huomautukset 1)–8) koskien luokituksia ja kalustotyyppejä ovat liitteessä 2.

Table 4: EN Line Category – Maximum Associated Speed [km/h]				
TSI Category of Line	Passenger Carriages (including Coaches, Vans and Car Carriers) ⁽¹⁾ and Light Freight Wagons ^{(1) (2)}	Freight Wagons Other vehicles	Locomotives and Power Heads ^{(1) (3) (4)}	Electric or Diesel Multiple Units, Power Units and Railcars ^{(1) (2)}
IV-P	B1 ⁽⁵⁾ – 200	(8)	D2 – 200 L6 ₁₉ L6 ₂₀ L6 ₂₁ L6 ₂₂ – 160 D4xL – 140	B1 ⁽⁵⁾ – 200 C2 ⁽⁶⁾ – 180 D2 ⁽⁷⁾ – 120
IV-F	(8)	E5 – 100 D4 – 120 B2 – 140	D2 – 140 D4xL – 120	(8)
IV-M	see IV-P	see IV-F	see IV-P	see IV-P
V-P	B1 ⁽⁵⁾ – 160	(8)	L4 _{21.5} – 160 L4 _{22.5} – 140 L6 ₁₉ L6 ₂₀ L6 ₂₁ L6 ₂₂ – 140	C2 ⁽⁶⁾ – 160 D2 ⁽⁷⁾ – 100
V-F	(8)	D4 – 100	L4 _{22.5} – 100 L6 ₁₉ L6 ₂₀ L6 ₂₁ L6 ₂₂ – 100	(8)
V-M	see V-P	see V-F	see V-P	see V-P
VI-P	B1 ⁽⁵⁾ – 140	(8)	D2 – 140 D4xL – 140	C2 ⁽⁶⁾ – 140 D2 ⁽⁷⁾ – 100
VI-F	(8)	E4 – 100	D2 – 100 D4xL – 100	(8)
VI-M	see VI-P	B2 – 140 D4 – 120 E4 – 100	D2 – 140 D4xL – 140	C2 ⁽⁶⁾ – 140 D2 ⁽⁷⁾ – 120
VII-P	A ⁽⁵⁾ – 120	(8)	L4 _{21.5} – 120 ³⁾	A ⁽⁵⁾ – 120
VII-F	(8)	C2 – 100	L4 _{21.5} – 100 L6 ₁₉ L6 ₂₀ L6 ₂₁ – 80	(8)
VII-M	B1 ⁽⁵⁾ – 120	see VII-F	see VII-P + VII-F	B1 ⁽⁵⁾ – 120

Taulukon 14 mukaisesti YTE-rataluokka ja EN-rataluokka voidaan yhdistää toisiinsa erilaisten kalustotyyppien ja nopeuksien mukaisesti. Taulukko kuvaa vähimmäisarvoa nopeudelle, joka tulee saavuttaa tietyssä rataluokassa. Toisin sanoen esimerkiksi YTE-luokan IV-F radalla EN-rataluokassa E5 pitää päästä ajamaan tavaravaunulla vähintään 100 km/h nopeudella. Radan saa suunnitella paremmaksikin, jos määräykset muuten täyttyvät.

Uuden luokituksen myötä SFS-EN 15528:n liitteessä A kuvatut rataluokkien kuormitustapaukset astuvat voimaan parannettavilla radoilla. Ohessa (taulukko 15) on kuvattu uudet EN-standardin rataluokat ja vallitsevat kuormitustapaukset.

Taulukko 15. SFS-EN 15528 liite A, jossa kuvataan rataluokat, rataluokkien sallitut akselipainot, metripainot sekä kuormitustapaukset. [5, s. 19–20] Tulevaisuudessa ratarakenteen tulee kestää kyseiset kuormitustapaukset rataluokittain. Taulukko kuvaa myös kaluston mitoittamista (pituus, akselien geometriset sijainnit).

Reference wagon	Axle load P (t)	Mass per unit length p (t/m)	Geometrical characteristics
A	16,0	5,0	
B1	18,0	5,0	
B2	18,0	6,4	
C2	20,0	6,4	
C3	20,0	7,2	
C4	20,0	8,0	

D2	22,5	6,4	
D3	22,5	7,2	
D4	22,5	8,0	
xL-a	20,0	8,0	
xL-b	22,5	7,4	
E4	25,0	8,0	
E5	25,0	8,8	

Uudet rataluokat määrittävät tarkasti junakuormat, akselien minimietäisyydet ja mitä rakenteen tulee kestää. Kuormitustapaukset määrittävät myös uudet rataluokat (A – E5). Rataluokkien mukaisten kuormitustapausten avulla selvitetään mitoituskuormat olemassa olevien ratojen stabiiliteettilaskentaa varten. Lisäksi rataluokat määrittävät kalustoteknisiä seikkoja kuten akselien sijainnin. Nykyisessä RATO 3:ssa esitetyt mitoitusmenettelyt nykyisellä suomalaisella kalustolla ja niiden akselien paikoilla eroaa taulukosta 15. EN-standardeilla nauhakuorman arvo kasvaa, ja nykyisen rata-verkon ja sen luokkien kantavuuden ero uuteen on huomattava. Tämän lisäksi mitoituksessa täytyy muistaa EN-standardien jako uusiin ja olemassa oleviin ratoihin, vaikka rataluokat määräytyvät taulukon 15 mukaan.

Kaiken kaikkiaan ratojen nykyinen Suomen kansallisiin ohjeisiin pohjautuva ja uusiin eurooppalaisiin ohjeisiin pohjautuva luokittelukokonaisuus eroavat toisistaan erittäin paljon. Nykyisiä päällysrakenneluokkia ei voida muuttaa suoraan uutta luokitusta

vastaavaksi ilman nykyisen rataverkon tarkastuksia ja mahdollisia kantavuuden tarkistuslaskentoja.

4.5.3 Rataluokan ja nopeuden yhdistäminen

Nopeuksien puolesta uusi EN-järjestelmän rataluokitus on monimuotoisempi verrattuna nykyiseen päällysrakenneluokitukseen. Periaatteessa standardi ei huomioi nopeuksia, mutta siinä on kuitenkin annettu joitain suosituksia eri luokkien nopeuksille.

SFS-EN 15528 rataluokille E4 ja E5 suositellaan maksiminopeuksiksi standardissa 100 km/h [5, s. 8]. Standardi antaa myös epäsuorasti luokan D radoille tavaraliikenteen (D3, D4) maksiminopeudeksi joko 100 tai 120 km/h. Standardin liitteessä D on kuvattu tyypillisimmät maksiminopeusluokat rataluokittain. Tilanteessa, jossa radan sallittu akselipaino on suurempi kuin 22,5 tonnia ja sallituksi nopeudeksi ehdotetaan yli 100 km/h, tulee tehdä erityistarkastelu radan dynaamisten ominaisuuksien takia. Standardissa puhutaan nopeuden ja akselipainon riippuvuussuhteesta, mutta siinä ei esitetä suoria rajoituksia nopeuksille [5.]

Standardissa annetaan kaksi vaihtoehtoista menetelmää rataluokan ja nopeuden yhteensovittamisen määrittämiselle. Ensimmäinen vaihtoehto ohjeistaa määrittämään rataluokan tavaraliikenteen maksiminopeuden mukaan (enimmäisnopeus tällöin 100/120 km/h). Eli tällöin esitetään se rataluokka, jonka nopeutena voidaan pitää suurinta nopeutta. Toinen vaihtoehto rataluokan ja nopeuden yhteensovittamiselle on yhdistää suuri rataluokka alennetulla sallitulla nopeudella. Nämä standardin mainitsemat vaihtoehdot koskevat kuitenkin vain päällysrakennetta ja siltoja. Maanvaraisen penkereen stabiliteetin kannalta vaarallisin tilanne muodostuu nopeudella 0 km/h, joten nopeutta laskemalla ei voida sallia suurempia kuormia Suomen olosuhteissa. [10.]

Koska nykyinen suomalainen luokitus perustuu vain päällysrakenteen laatuun, on suuremmilla kuormilla voitu sallia pienempiä nopeuksia. Uusi EN-järjestelmän rataluokitus perustuu koko rakenteen (alus- ja päällysrakenne, pohjarakenteet ja pohjamaa) kantavuuteen ja tällöin geoteknisen mitoituksen ja penkereen stabiliteetin kannalta ei voida sallia suurempia kuormia pienemmällä nopeudella, koska vaarallisin tilanne muodostuu paikallaan seisovasta junasta. Käytännössä nopeudella ei ole siis maanvaraisen penkereen stabiliteetin kannalta suurta merkitystä vaan määräävänä tekijänä ovat kuormat eli tosielämässä kaluston akselipainot.

UIC 700 määrelehdessä, jonka pohjalta SFS-EN 15528 on tehty, sanotaan, että nopeusrajoitukset voidaan määrätä tietyille rataosuuksille tai rakenteille. Jokaisen maan rataa ylläpitävät tahot voivat määrittää nopeusrajoitukset mukaillen omia kansallisia säädöksiä riippuen mm. infrastruktuurin luonteesta tai muista vaatimuksista (esimerkiksi tasoristeykset) [25, s. 3.]

Standardin SFS-EN 15528 liitteessä F kuvataan nopeuden ja akselipainon välistä vuorovaikutusta esimerkkitapauksin. Esimerkkitapauksien periaatteena on sallia suurempia kuormia pienemmällä nopeuksilla. Liite F, kuten standardi kokonaisuudessaan, on tarkoitettu etupäässä silloille, joten sen mukaisia esimerkkitapauksia ei voida soveltaa sellaisenaan Suomessa, koska radan penkereen stabiliteetin kannalta nopeuksia laskemalla ei voida sallia suurempia kuormia [10.]

Suomessa tulisikin siis asettaa rataosuuksittain suurimman akselipainon mukaan määräytyvät rataluokat. Rataluokka määritettäisiin tavaraliikenteen kuormien mukaisesti. Nopeusrajoitukset asetettaisiin siltojen sallimien nopeuksien ja tämän julkaisun luvun 4.3.2 nopeuksia rajoittavien tekijöiden mukaan. Toisaalta samalle rataosuudelle voitaisiin sallia samanaikaisesti tavaraliikenteelle alempi rataluokka ja alemman rataluokan kaluston kulku suuremmilla nopeuksilla, koska tällöin kuormat ovat pienemmät. Lisäksi henkilöliikenteelle voitaisiin sallia samalle rataosuudelle alempi rataluokka, joka myös tarkoittaisi pienempiä kuormia. Nopeudet määräytyisivät samojen perusteiden mukaisesti kuin tavaraliikenteelle ja tällöin voitaisiin sallia suurempia nopeuksia. Lisäksi päällysrakenteen vaikutus uuden rataluokituksen mukaisiin alusrakenteen ja pohjamaan sallimiin nopeuksiin ja akselipainoihin tulisi tutkia, koska standardit eivät määrää rataluokille nopeuksia.

Rataosuuksittain tehtävää luokittelua voitaisiin merkitä esimerkiksi liitteessä 5 esitetyn taulukon mukaisesti.

Käytännössä tämä kokonaisuus tarkoittaisi sitä, että pyritään mahdollisuuksien mukaan säilyttämään nykyiset liikennerajoitukset (akselipaino- ja nopeusrajoitukset) ennallaan muuttamalla päällysrakenneluokat rataluokiksi. Koska radoille sallittavat kuormat kasvavat, joudutaan tarkistamaan vaarallisimmiksi määritetyillä alueilla ratojen kantavuus uusien kuormien mukaisesti. Jos radan kantavuus ei kestä heikon kantavuuden alueilla kasvaneita kuormia, lasketaan tuolloin akselipainorajoitusta paikallisesti. Tällä menetelmällä voitaisiin laatia samantyyppinen taulukko rataosittain rataluokista ja sallituista nopeuksista, mikä on nykyisinkin käytössä *Rataverkon kuvauksessa* (tämän julkaisun liite 1).

Vetureille voidaan sallia vaunuja suuremmat kuormat, koska niitä sallitaan junassa vain kaksi. Koska standardi on lähtökohtaisesti tehty siltoja varten, joissa väsytyraskaus on yleensä merkityksellinen, ei rajatulla määrällä lievästi raskaampia kuormia ole merkitystä päätyvaikutuksesta johtuen. Tätä voitaisiin hyödyntää myös geotekniikassa [23.]

5 Geotekniset junakuormat

Junakuormat ovat olennainen osa ratojen luokittelu- ja mitoitusprosessia. Yksinkertaisuudessaan geoteknisillä junakuormilla tarkoitetaan radalla liikkuvan kaluston aiheuttamia kuormia, jotka rasittavat radan rakenteita sekä pohjamaata. Näitä kuormia käytetään ratojen geoteknisessä mitoituksessa. [22.]

Voimaan astuva Infra-YTE ohjaa käyttämään uusilla radoilla SFS-EN 1991-2:n kuormakaaviota LM71 ja sen mukaisia junakuormia. Olemassa oleville radoille puolestaan YTE edellyttää käyttämään standardin SFS-EN 15528 junakuormia. EN-standardien myötä mitoituksessa ja luokittelussa käytettävät junakuormat kasvavat verrattuna nykyisiin malleihin.

Uusien ratojen junakuormana laskennassa käytetään nykyisin RATO 3:n kuormia. EN-standardissa uusien ratojen mitoituksessa ohjeistetaan käyttämään kuormakaavio LM71:n mukaisia kuormia, jotka ovat suuremmat kuin nykyiset kuormat. Koska uusille radoille voidaan soveltaa suoraan uusia ohjeita, ei niiden mitoituksessa muodostu teknistä ongelmaa.

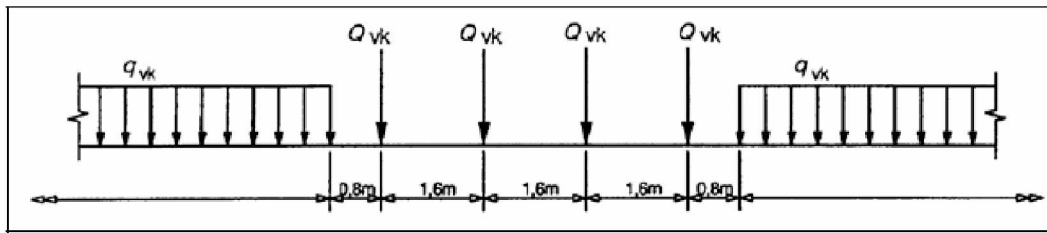
Olemassa olevien ratojen luokitus ja mitoitus EN-järjestelmän mukaiseksi asettaa nykyiselle järjestelmälle haasteita. Nykyisellään olemassa olevien ratojen stabiiliteetin laskennassa käytetään Ratahallintokeskuksen julkaisua *B15, Radan stabiiliteetin laskenta, olemassa olevat penkereet*. B15:ssä geoteknisenä junakuormana käytetään pienempää kuormaa verrattuna SFS-EN 15528 kuormiin.

Tämän vuoksi nykyisillä laskentamalleilla sekä geoteknisillä junakuormilla mitoitettut radat voivat osoittautua etenkin pehmeikköalueilla heikommiksi, mitä uudet EN-standardit edellyttävät.

Tässä luvussa käsitellään nykyisten ja uusien ohjeiden sisältämiä geoteknisiä junakuormia sekä niiden mukaisia laskentaoletuksia (maarakenteille), jotka vaikuttavat rataverkon luokitteluun kantavuuden mukaan.

5.1 RATO 3:n junakuormat

Ratojen nykyisen geoteknisen mitoituksen sekä luokituksen pohjana käytetään RATO 3:n junakuormia. Vuonna 2008 päivitettyssä RATO 3:ssa käytetään kuormakaaviona samaa LM71:tä, joka on myös uuden eurokoodi SFS-EN 1991-2:en kuormakaavio. RATO mitoituksessa sekä uusiin, että vanhoihin ratoihin sovelletaan samoja kuormia. Tämä poikkeaa uudesta eurooppalaisesta menettelytavasta, sillä SFS-EN 15528:ssa sekä SFS-EN 1991-2:ssa käytetään uusien ja vanhojen ratojen suunnittelussa eri kuormia. Nykyisin olemassa olevien ratojen mitoituksessa hyödynnetään RATO:a täydentävän julkaisun B15 ominaiskuormaa laskettaessa stabiiliteettia kokonaisvarmuusmenettelyllä.



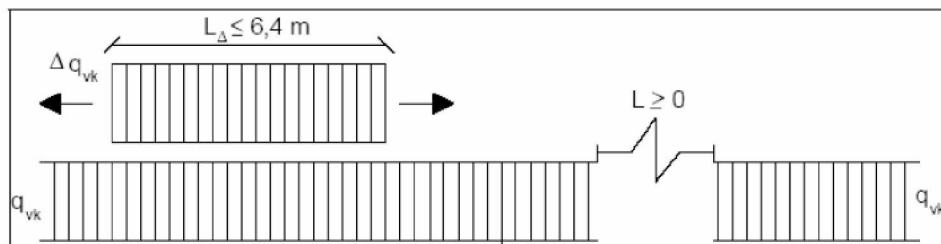
Kuva 4. Eurokoodin mukainen kuormituskaavio LM71, jota hyödynnetään myös RATO mitoituksessa. [1, s. 21]

Koska nykyisessä RATO-mitoituksessa kuormakaavio on sama sekä uusille että vanhoille radoille, ja kuormat ovat samat molemmille, ero uusien ja vanhojen ratojen suunnittelun välillä muodostuu vaaditusta varmuustasosta. Olemassa olevilla radoilla varmuustaso tulee olla 1,3...1,5 seurantamittauksilla ja ilman seurantamittauksia 1,5. Uusilla radoilla puolestaan minimi on 1,8 [26, s. 24.]

RATO 3:n stabiliteettilaskenta suoritetaan kokonaisvarmuuksilla. Lyhyesti se tarkoittaa sitä, että laskennassa ei eri kuormille käytetä muita varmuuskertoimia vaan lopputuloksen tulee olla 1,5 (1,3) tai enemmän (kokonaisvarmuus $\geq 1,5$) edellisen kappaleen mukaisesti.

Stabiliteettilaskennassa eli radan mitoituksessa käytetään taulukon 16 mukaisia mitoituskuormakaavion nauhakuorman q_{vk} arvoja [1, s. 21].

Jos radan korkeusviivan ja tarkastelutason välinen korkeusero on suurempi kuin 0,8 metriä, voidaan RATO 3:en kuormakaaviota käsitellä kahtena tasaisena kuormana q_{vk} ja Δq_{vk} kuvan 5 ja taulukon 16 mukaisesti [1, s. 21].



Kuva 5. Kuormakaavion LM71 käsittely kahtena tasaisena kuormana. [1, s. 21]

Taulukko 16. Kaluston sallittua akselipainoa vastaavat mitoituskuormakaavion tunnuks¹et sekä niiden mukaiset akseli- ja nauhakuormat. [1, s. 22]

Kaluston sallittu akselipaino [kN]	Mitoituskuormakaavion tunnus	Mitoituskuormakaavion nauhakuorma, q_{vk} [kN/m]	Δq_{vk} [kN/m]	Mitoituskuormakaavion akselikuormat, Q_{vk} [kN]
170	LM71-17	60	58	188
225	LM71-22,5	80	76	250
250	LM71-25	88	84	275
300	LM71-30	106	102	333
350	LM71-35	120	111	370

Vaikka RATO:ssa on sama kuormakaavio LM71 kuin EN-standardissa, ovat niiden laskennassa käytettävät nauhakuorman ominaisarvot erisuuruiset. Tulevassa SFS-EN 1991-2:ssa kuormat tulevat nousemaan uusien ratojen mitoituksessa noin 30 % suuremmiksi nykyisiin kuormiin verrattuna [9, s. 11.] Tämä johtuu siitä, että alun perin RATO:n kuormat ovat otettu suoraan eurokoodin perustana olevasta UIC 702 määrelehdestä siten, että rakenteiden kestävyys on tarkistettu ”todellisella” kalustolla. Koska SFS-EN 1991-2 on siltojen mitoitukseen tarkoitettu ohje, on sen ajattelumaailma erilainen kuin RATO:ssa siten, että siltojen mitoituksessa käytetään 3-ulotteista laskentamallia ja RATO:n geoteknisessä laskennassa puolestaan 2-ulotteisia malleja. Koska Eurokoodit tulevat voimaan ja kuormakaaviota LM71 joudutaan käyttämään myös geoteknisessä mitoituksessa sen todellisilla kuormilla, on kuormien laskenta-arvoja jouduttu tarkistamaan eurokoodia vastaavaksi. Tällöin on todettu, että nykyisin RATO:ssa käytetyt arvot eivät anna yhtä suurta kuormavaikutusta, mitä SFS-EN 1991-2:n kuormakaavio edellyttää [11] [23.]

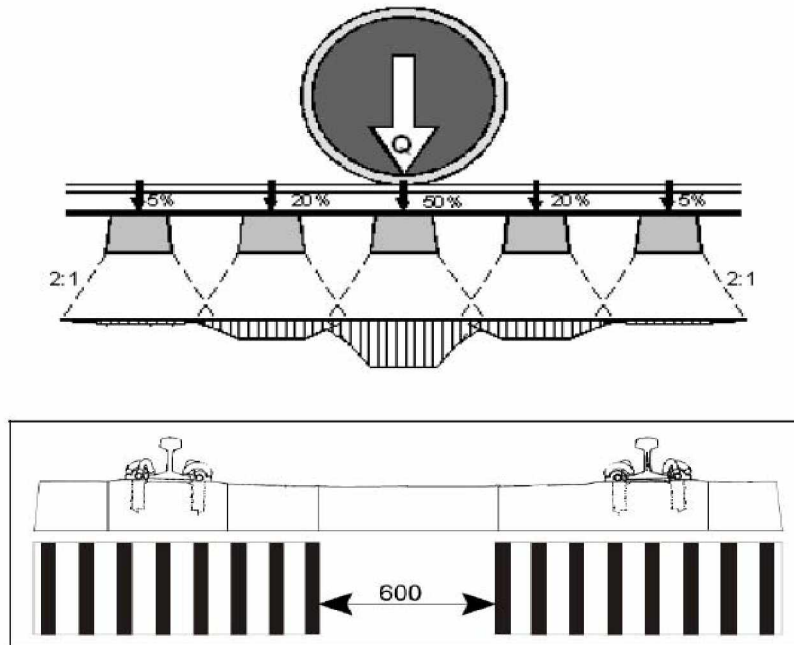
Myös olemassa olevilla radoilla mitoituskuormat kasvavat, koska RATO:ssa käytetään sekä uusille että olemassa oleville radoille samoja kuormia, ja on todettu, että myös SFS-EN 15528 kuormat ovat nykyisiä kuormia suuremmat.

Koska RATO ei ota kantaa kalustoon, on taulukon 16 mitoituskuormakaavion nauhakuorman arvot todettu oletetulla kalustolla, jonka lähimmän akselin etäisyys puskimesta on 2,1 metriä. Tämä akselin vähimmäisetäisyyden arvo on saatu vuonna 2007 tehdystä selvitystyöstä, jossa tutkittiin nykykaluston kuormittavuutta. Selvitystyöstä on tehty Ratahallintokeskuksen julkaisu *A4 Ratarakenteen kuormituksen määrittäminen stabiliteettitarkasteluihin*. Nykyisin on kuitenkin jo liikenteessä kalustoa, jonka akselin pienin etäisyys puskimesta voi olla vain 1,5 metriä.

Nykyisin uusien ratojen suunnittelussa käytetään taulukon 16 mukaista 350 kN:in sallittua akselipainoa. Tällöin mitoituskuormakaavion tunnus on LM71-35. Vanhoilla parannettavilla radoilla mitoittavana akselipainona käytetään tapauskohtaisesti mahdollisimman suuria kuormia, useimmiten LM71-25.

Koska mitoitus tehdään paikalla olevan junan kannalta, ei nopeiden junien aiheuttamaa värähtelyriskiä voida ennakoida. Tähän ongelmaan, mikäli värähtelyriski on mahdollinen, käytetään dynaamista värähtelyn arviointia. Rataosuuksilla, joissa nopeudet nousevat yli 160 km/h tulee värähtely ottaa huomioon [1, s. 23.]

Kuormakaaviossa LM71 kuvatut pystysuuntaiset kuormat jakaantuvat ratapölkkyjen kautta ratapenkereeseen kuvan 6 mukaan. Jakaantuminen ei koske tukikerroksettomia siltoja [22.]



Kuva 6. Pystysuoran junakuorman jakautuminen ratapölkystä ratapenkereeseen. [1, s. 24]

RATO 3:a täydentävä julkaisu B15 ohjeistaa vakavuuslaskentaa olemassa oleville penkereille. Tämän mukaan olemassa olevien ratapenkereiden vakavuuslaskennassa käytetään nauhakuorman perusteella määräytyviä kuormia (ominaiskuorma, murtorajatilan mitoituskuorma). Tämä ominaiskuorma voi olla esimerkiksi ominaiskuorma $q_{om}=35,2 \text{ kN/m}^2$ laskettaessa kokonaisvarmuusmenettelyllä ja mitoitusakselipainolla 25 tonnia. Tämä arvo saadaan mitoituskuormakaavion nauhakuorman arvosta 88 kN/m jakamalla se ratapölkyn leveydellä 2,5 metriä.

Taulukko 17. Olemassa oleville ratapenkereille käytettäviä junakuormien arvoja vakavuuslaskentaan. [13, s. 13]

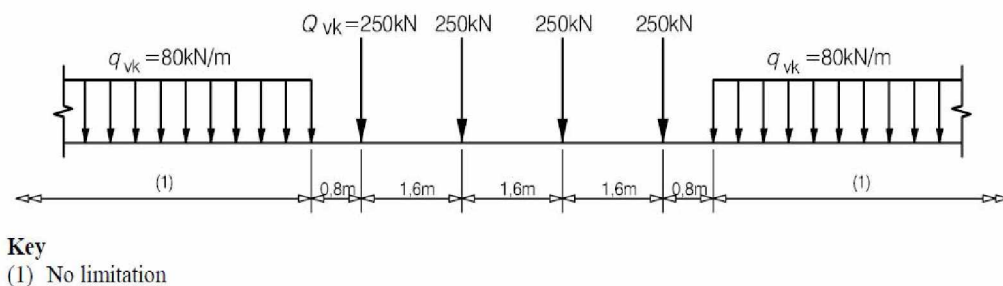
Akselipainot		Kokonaisvarmuus		Osavarmuus	
Mitoitus- akselipaino t	Nauha- kuorma $q_{vk} \text{ kN/m}$	Ominais- kuorma $q_{om} \text{ kN/m}$	Ominais- kuorma $q_{om} (b=2,5\text{m}) \text{ kN/m}^2$	Murtoraja- tilan mitoitus- kuorma $q_m \text{ kN/m}$	Murtoraja- tilan mitoitus- kuorma $q_m (b=2,5 \text{ m}) \text{ kN/m}^2$
17	60	60,0	24,0	78,0	31,2
22,5	80	80,0	32,0	104,0	41,6
24,5	86	86,0	34,4	111,8	44,7
25	88	88,0	35,2	114,4	45,8
30	106	106,0	42,4	137,8	55,1
35	120	120,0	48,0	156,0	62,4

Käytännössä uusien EN-standardien voimaantulo tarkoittaa myös sitä, että esimerkiksi taulukon 17 arvot tulee muuttaa SFS-EN 15528 arvojen mukaisiksi. Luokittelun kannalta kuorman kasvu on merkittävä.

Lisäksi uusien standardien mukaisesti uusien ja vanhojen ratojen eri kuormat muuttavat osaltaan laskentamaailmaa.

5.2 Kuormakaavio LM71 standardin SFS-EN 1991-2 mukaan

Standardi SFS-EN 1991-2 on tarkoitettu siltojen mitoitukseen ja se tarkastelee sekä tie-, jalankulku- että rautatiesillat, mutta jota kuitenkin käytetään ratamaailmassa myös muiden rakenteiden mitoituksessa. Tärkeimpänä yksittäisenä ratoihin vaikuttavana tekijänä standardissa on kuormakaavio LM71, jota hyödynnetään uusien rakenteiden mitoituksessa. Kuormakaavio LM71 esitetään UIC:n määrelehdessä 702, josta se on johdettu myös standardiin. Kuormakaavio on suunniteltu vuonna 1971 ja ensimmäisen kerran sen periaatteita on Suomessa sovellettu siltojen kuormakaaviossa VR-74 vuodelta 1974. Kuormakaavio VR-74 ei skaalautunut vaan siinä oli esitetty kuormitustapaukset, jotka vastasivat likimain LM71 $\alpha = 1,00$ kuormaa [22.] VR-74 on esitetty tämän julkaisun liitteessä 4.



Kuva 7. Kuormakaavio LM71 [6, s. 68]

Kuva 7 kuvaa kuormakaaviota LM71. Kuormakaavio koostuu neljästä (mitoituskuormakaavion) akselikuormasta Q_{vk} , jotka sijaitsevat 1,6 metrin etäisyydellä toisistaan, ja nauhakuormista q_{vk} . Akselikuorma Q_{vk} ei ole sama asia kuin akselipaino, vaan sitä käytetään mitoituksessa. Käytettävä akselikuorma Q_{vk} saadaan tulosta $\alpha \cdot 250$ kN. Myös q_{vk} kerrotaan samalla tavalla alfa-kertoimella.

SFS-EN 1991-2 antaa alfa-kertoimelle arvot 0,75-0,83-0,91-1,00-1,10-1,21-1,33-1,46. [6] Alfa-kertoimen arvoksi on SFS-EN 1991-2:n Suomen kansallisessa liitteessä lähtökohtaisesti määrätty 1,46, joskin poikkeamia voidaan sallia [20, s. 12.] Kuten luvussa 4.5.2 on mainittu, YTE:n määrittämät alfa-kertoimen arvot ovat minimiarvoja eri YTE-ratatyypeille. Todellisuudessa yleisesti käytetään suurempia alfa-kertoimen arvoja.

SFS-EN 1991-2 ei ota kantaa stabiliteettilaskennassa käytettävään kuormaan, vaan siinä esitetään 3-ulotteinen kuormakaavio, johon stabiliteetin laskennassa käytettävä kuorma pohjautuu. Tämä kuorma esitetään RATO 3:ssa (kerrottu luvussa 5.1). RATO 3:en ja SFS-EN 1991-2:n eroavaisuus johtuu siitä, että SFS-EN 1991-2 käytetään 3-

ulotteista LM71 kaaviota. Puolestaan RATO 3:sta johdetut stabiliteetin laskentaohjelmat ovat 2-ulotteisia ja vaativat näin ollen nauhakuorman säätämistä siten, että päästään mahdollisimman lähelle ”todellista” 3-ulotteista tapausta [10.] Näin ollen myöskään SFS-EN 1991-2:n ja RATO 3:n nauhakuormat eivät ole yhtäpitäviä, vaikka niiden molempien tunnuksena käytetään q_{vk} .

Kuten luvussa 5.1 on todettu, tämä eroavaisuus tulee johtamaan uusien ratojen stabiliteettilaskennassa käytettävän nauhakuorman suurempiin arvoihin. Käytännössä tämä tarkoittaa noin 30 % kasvua junakuormissa [9, s. 11.]

Eurokoodien mukaisesti uusien ratojen mitoitus tapahtuu tulevaisuudessa osavarmuusmenetelmällä [10].

5.3 Standardin SFS-EN 15528 filosofia ja kuormat

SFS-EN 15528 kuvaa tavat, joilla olemassa olevat ja uudet radat sekä rautatiellä liikkuva kalusto luokitellaan. Standardi erittelee tekniset vaatimukset, joita tarvitaan varmistamaan liikkuvan kaluston ja infrastruktuurin yhteentoimivuus kantavuuden osalta. SFS-EN 15528 on tarkoitettu käytettäväksi tavara- ja henkilöliikenteessä sekä niiden sekoituksissa. Standardia käytetään radan infrastruktuurin (rata, radan perustukset, maarakenteet, sillat ja muut rakenteet) määrittelemisessä pystysuuntaisten voimien kantokapasiteetille, rautatiekaluston suunnitteluun sekä tavaraliikenteen hyötykuormarajoitusten (kuormataulukot) määrittämiseen [5, s. 6.]

SFS-EN 15528 luokittelusysteemin käyttö käyttäen rataluokkia mahdollistaa helpon ymmärrettävyyden kuormaperäisessä infrastruktuurin ja liikkuvan kaluston yhteensopivuudessa. SFS-EN 15528 määrittää rataluokat luokitteluprosessin tulokseksi, jossa kuvataan infrastruktuurin kykyä kestää pystysuuntaisia kuormia, joita radalla liikkuva kalusto aiheuttaa. Standardin mukaan radat tulee luokitella erilaisiin rataluokkiin ja kalusto erilaisiin kalustoluokkiin. Jokainen rataluokka on määritelty radan kapasiteetin mukaan siten, miten se kestää kalustoluokkien mukaisia (taulukko 15) kuormia. Kalustoluokat ovat radan kannalta kuormakaavioita. Kuormakaavioissa on käytetty referenssivaunuja, jotka määräytyvät kolmen ominaisuuden, akselipainon, metripainon ja akselien sijainnin mukaan [5, s. 9-11.]

Standardin SFS-EN 15528 liitteessä A (taulukko 15) määritellyt kuormakaaviot kuvaavat infrastruktuurin koko rakenteen kykyä kestää liikenteen pystysuoria kuormituksia.

Kokonaisuudessaan SFS-EN 15528 pääkohdat käsittelevät kaluston ja radan rakenteen luokittelusysteemin.

5.3.1 Laskentamenetelmät

Osavarmuusmenetelmää käytetään eurokoodien mukaisesti uusilla radoilla sekä uusilla rakenteilla. Olemassa olevilla radoilla ja niiden parannuksissa käytetään joko osavarmuus- tai kokonaisvarmuusmenetelmää. Nykyisin olemassa olevien penkereiden vakavuuslaskennassa käytetään kokonaisvarmuusmenetelmää.

SFS-EN 15528 ei ota kantaa laskentamenetelmiin eikä siinä esitetä laskentakaavoja lukuun ottamatta standardin liitteen G esimerkkilaskelmaa sillan leikkausjännityksen osalta. Tätä ei kuitenkaan voida hyödyntää suoraan maarakenteiden laskennassa. Tämän hetkisen arvion pohjalta myös olemassa oleville radoille käytettäisiin osavarmuusmenetelmää, kuten uusille radoille käytetään, eurokoodin mukaisesti kuten luvussa 4.1 on mainittu [10].

5.3.2 Kuormat

SFS-EN 15528 junakuormat määräytyvät standardin liitteen A ja tämän julkaisun taulukon 15 mukaan. Näitä rataluokittain määräytyviä kuormia hyödynnetään olemassa olevien ratojen luokituksessa ja mitoituksessa.

Taulukko 18. Olemassa olevan radan luokitteluun ja mitoitukseen sovellettava kuormataulukko standardin SFS-EN 15528 rataluokitukseen perustuen [1, liite 3]

SFS-EN 15528:n luokituksen rataluokka	Maksimi akselipaino (kN)		Stabiliteettilaskennan nauhakuorma (kN/m)
	2-akselinen teli	3-akselinen teli	
A	160	125	67
B1	180	135	76
B2	180	140	
C2	200	160	83
C3	200	160	
C4	200	160	
D2	225	170	98
D3	225	180	
D4	225	180	
D4xL	225	210	
E4	250	195	101
E5	250	200	

Standardin SFS-EN 15528 mukaiset stabiliteettilaskennan nauhakuormat ovat taulukon 18 mukaiset, joskin D-luokkaan on tullut muutos (ks. taulukko 19). Jos arvoja verrataan RATO 3:en vastaaviin esimerkiksi akselipainolla 250 kN, on ero noin 15 % suurempi toimittaessa SFS-EN 15528 mukaan [9, s. 11.] Tämän vuoksi nykyiset radat voivat olla vaikeuksissa kantavuutensa puolesta, koska SFS-EN 15528 määrittää uudet rataluokat ja sen mukaiset kuormat ovat nykyisiin verrattuna suuremmat.

Vakavuuslaskennassa, jos käytetään suoraan RATO-mallia, taulukoiden 17 ja 18 mukaiset arvot muuttuvat siten, että uusien ohjeiden mukaisesti esimerkiksi rataluokassa E4/E5 ominaiskuorma kokonaisvarmuuksilla laskettaessa kohoaa taulukon 17 arvosta $35,2 \text{ kN/m}^2$ arvoon $101 \text{ kN/m} / 2,5 \text{ m} = 40,4 \text{ kN/m}^2$. Osavarmuuksilla laskettaessa kuormien ero on samaa suuruusluokkaa.

SFS-EN 15528 2-akselinen teli johtaa taulukoissa 18 ja 19 esitettyihin arvoihin. SFS-EN 15528:ssa mitoittavana tapauksena käytetään 2-akselista teliä ja 3-akselinen on määritetty siten, että sen kuormavaikutus ei ylitä 2-akselisen telin kuormavaikutusta [9, s. 12.]

Taulukosta 18 poiketen D-luokan radoille on viimeisimpien tutkimusten mukaan laskettu nauhakuorman arvoksi 92 kN/m 98 kN/m sijasta. Taulukossa 18 D-luokan radoille annettu arvo 98 kN/m on raskaille 3-akselisille vetureille tarkoitettu erikoistapaus, joka vastaa rataluokkaa D4xL. Arvo 92 kN/m antaa arvon ”normaalille” D-luokan radalle. Näin ollen mitoituksessa tullaan käyttämään D-luokan radoilla arvoa 92 kN/m. Arvolla 92 kN/m ero vanhaan mitoituskuormaan on noin 15 % suurempi [10.]

Taulukko 19. Eri rataluokille lasketut viimeisimmät nauhakuorman arvot. Määräävänä tapauksena käytetään 2-akselista teliä. D-luokalle tullaan siis käyttämään mitoituksessa arvoa 92 kN/m taulukosta 18 poiketen. [10]

Rataluokka	max. akselipaino 2-akselinen (kN)	2-akselinen teli (kN/m)	max. akselipaino 3-akselinen (kN)	3-akselinen teli (kN/m)
A	160	67	125	60
B1	180	76	135	65
B2	180	75	140	68
C2	200	83	160	76
C3	200	82	160	77
C4	200	83	160	78
D2	225	92	170	81
D3	225	92	180	84
D4	225	91	180	85
D4xL	225	98	210	96
E4	250	101	195	89
E5	250	100	200	92

5.4 Venäläiset normit

Geoteknisten junakuormien osalta myös venäläiset normit tulisi huomioida. Venäläisen kaluston mitoitus perustune standardivaunujen käyttöön. Venäläisestä kalustosta löytyy lyhyempiä etäisyyksiä lähimmästä akselist puskintasoon kuin SFS-EN 15528 mitoituksessa [11.]

Koska virallisen tiedon saanti on erittäin hankalaa venäläisestä normistosta, tarvitsee se erityistarkastelua tämän julkaisun ulkopuolella.

6 Kalusto

Kalusto toimii oleellisena osana rataverkon luokittelussa, niitä vartenhan ratoja rakennetaan. Yleisesti kalusto voidaan jakaa karkeasti vaunuihin, vetureihin sekä ratatyökoneisiin. Vaunutyyppejä ovat esimerkiksi matkustajavaunut, moottorivaunut sekä tavaravaunut. Veturit jaetaan vaihtovetureihin ja linjavetureihin, jotka on tarkoitettu moottorittomien vaunujen ja junien vetämiseen. Lisäksi kalusto voidaan jaotella käyttövoiman perusteella sähkökäyttöiseen kalustoon sekä polttoainekäyttöiseen kalustoon [22.]

Suomessa kaluston mitoittamista ohjaa Liikenteen turvallisuusviraston ohjekokonaisuus LIMO (Liikkuvan kaluston määräykset ja ohjeet) ja se koostuu 7 osasta, joita ovat *Liikkuvan kaluston yleiset tekniset määräykset*, *Veturit*, *Moottorivaunut*, *Henkilövaunut*, *Tavaravaunut*, *Ratatyökoneet* sekä *Liikkuvan kaluston hyväksyminen liikenteeseen*. Myös Yhteentoimivuuden tekniset eritelmat ohjaavat liikkuvan kaluston suunnittelua ja käyttöönottoa. Tavaravaunuja koskeva YTE on ollut voimassa vuodesta 2007 lähtien ja 1.1.2011 voimaan astuu vetureita, matkustajavaunuja ja ratatyökoneita koskeva YTE. Nykyisin voimassa on myös suurten nopeuksien junia koskeva YTE (vuodelta 2008), jota Suomessa ei kuitenkaan ole sovellettu [22.]

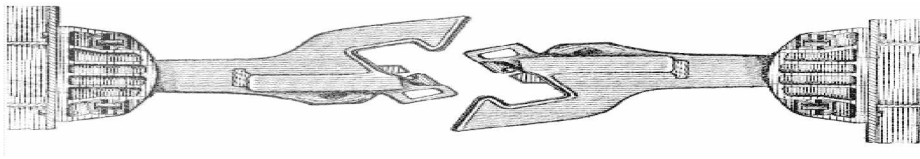
Uuden rataverkon luokittelukokonaisuuden myötä kalustotekniikka aiheuttaa ongelmia rataverkolle, koska LIMO ei ole rajoittanut vaunujen akselien sijoittamista. Aikaisemmin ongelmaa ei ole ollut, koska vanhempi teliteknikka (K14, K16) yhdessä käytössä olleiden automaattikytkinten vetolaitteiden tilavarauksen kanssa on edellyttänyt noin 2 metrin vähimmäisetäisyyttä puskimesta lähimpään akseliin. Teli-teknikka on muuttunut ja uudet telit (K17) sekä ulkomaisessa kalustossa venäläinen tekniikka mahdollistavat akselien sijoittamisen entistä lähemmäksi vaunun päätyjä. Akselien sijoittaminen lähemmäs päätyjä edesauttaa kulkuominaisuuksien parantamista sekä ulottuman hyödyntämistä erityisesti lyhyissä vaunuissa. Tavaravaunuja koskevan YTE:n tultua voimaan on myös Suomen rataverkolla sallittu SFS-EN 15528:n mukaan mitoitettun kaluston kulku. Liikennevirastolla ei ole mahdollisuutta estää tämänkaltaisen kaluston kulkua, jos akselipaino on enintään sama, mitä radan luokitus sallii [22.]

6.1 Kalustotekniikan kehittyminen

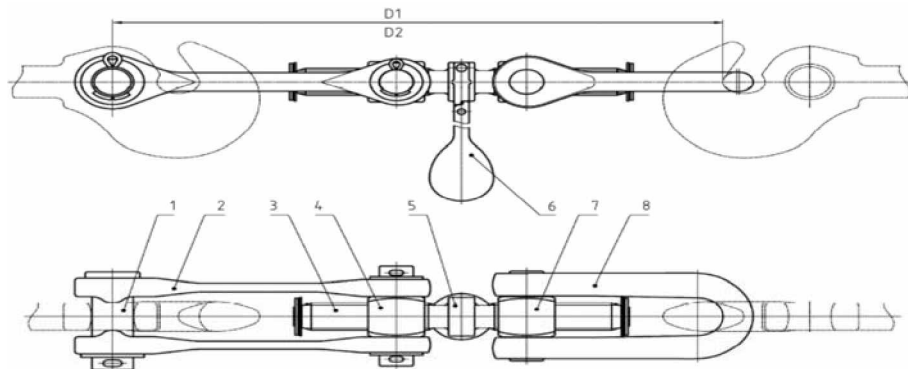
Vetolaitteen vaatima tila yhdessä käytössä olleen telirakenteen kanssa on ollut esteenä akselien sijoittamiselle vaunujen päätyihin aikaisemmin. Tämä on johtanut kalustotekniikan eroihin suomalaisen ja eurooppalaisen kaluston välillä [22.]

Suomalaisen kalustotekniikan kannalta oleellista on ollut nimenomaan vetolaitteeseen liittyvät seikat. Kaikessa suomalaisessa kalustossa on vetolaitteen tila SA3-automaattikytkintä (kuva 8) varten. SA3-automaattikytkin tarvitsee suuremman tilan kuin vain ruuvikytkintä (kuva 9) varten oleva vetolaitte (kuva 10). Vetolaitte itsessään on vaunun rungossa oleva laite, joka ottaa vastaan ruuvikytkimen vetovoimat ja automaattikytkimen tapauksessa myös työntövoimat. Ainakin automaattikytkimen tapauksessa edellytetään käytettävän joustolaitetta (kuva 11)

osana vetolaitetta. Ruuvi- tai automaattikytkin ei ole itse vetolaite, vaan ne ovat erilaisia kaluston kytkintyyppejä [22.]

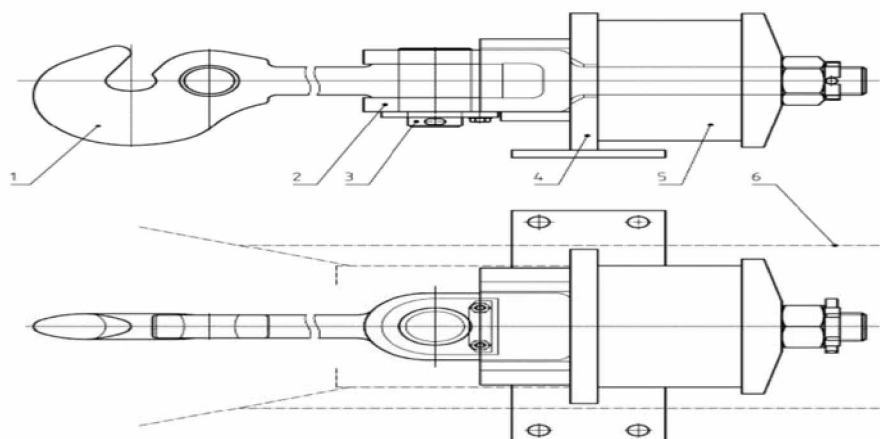


Kuva 8. Havainnekuva SA3-automaattikytkimestä. [30]



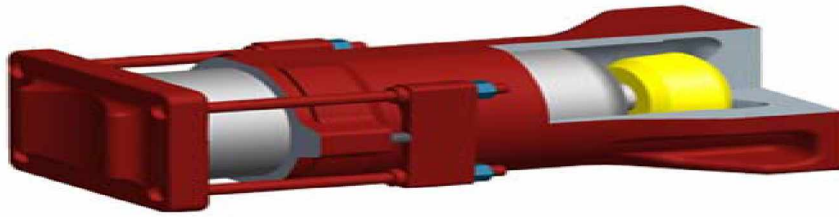
1. Kytentäkoukun tappi
2. Ruuvikytkimen aisat
3. Ruuvi
4. Pallokahvan mutteri (T-palkki)
5. Kahvan (T-palkin) pesä
6. Kiristyskahva (T-palkki)
7. Mutteri
8. Ruuvikytkimen sankka (kiinnitysrengas)

Kuva 9. Ruuvikytkin. [27, s. 14]



1. Vetokoukku
2. Vetopalkki
3. Liitostappi
4. Tukilevy
5. Joustolaitte
6. Aluskehys

Kuva 10. Ruuvikytkimen vetolaitteen kokoonpano joustolaitteella. [27, s. 13]



Kuva 11. Esimerkki automaattikytkimen joustolaitteesta. [31]

Joustolaite on huomattavasti pidempi kuin pelkkä ruuvikytkimen vetolaite. Joustolaite asennetaan vaunuun siten, että itse kytkimen nivelet tulevat puskinpalkin sisään, eli joustolaite ulottuu noin 7080 cm päähän puskinpalkista. Telin pitää mahtua joko joustolaitteen alle (K17, avoin päätyrakenne, H-muoto) tai olla keskemällä vaunua (K14, K16, suorakaidemuoto). Kaikissa suomalaisissa vaunuissa on tilavarauksena varauduttu automaattikytkimen käyttämiseen (varautuen yhteensopivuuteen venäläisen kaluston kanssa), mikä on eurooppalaisittain harvinaista. Muualla ruuvikytkimen vetolaite asennetaan suoraan puskinpalkkiin, jolloin vaunun alusta jää vapaaksi telille ja sen liikkeille. Tämän seurauksena on suomalaisen kaluston akselin etäisyyttä jouduttu kasvattamaan päädyistä verrattuna eurooppalaiseen kalustoon [22.]

Taulukosta 20 nähdään, että suomalaisten vaunujen historia ja akselipainojen kehitys on ollut seuraavanlaista (pois lukien yksittäiset erikoiskuljetuksina kuljetettavat suurkuormavaunut):

Taulukko 20. Kaluston akselipainojen kehitys vuosiluvuittain. [22]

Akselipaino (tonnia)	Vuosiluvut
13	-1944
13,1	1944-1946
13,5	1946-1953
14,5	1953-1955
14,8	1955-1956
14,9	1956-1957
15	1957-1960
20	1960-1984
22	1984-1985
22,5	1985-2002
25	2002-

Kuten taulukosta 20 nähdään, on suomalaisten vaunujen kehitys ollut varsinkin 1950- ja 1960 lukujen taitteessa melko nopeaa. Taulukon ulkopuolella jo vuonna 1964 sallittiin neuvostoliittolaisten 4-akselisten vaunujen kuormaaminen ylikuormassa 22 tonnin akselipainoon.

Tavaravaunun suurin sallittu kuorma ilmoitetaan eri radoilla vaunun kuormataulukon avulla.

Kuormataulukon kuormat lasketaan radan rakenteen määräämien suurimpien sallittujen akselipainojen mukaan ottaen huomioon kalustotekniset seikat kuten vaunun kantavuus, jarrutuskyky ja kulkuominaisuudet [24, s. 79]. Fyysisesti kuormataulukot sijaitsevat esimerkiksi vaunun kyljessä. Kuormataulukon käyttö-ohjeessa ilmoitetaan, mikä on suurin sallittu kuorma eri rataluokissa junissa, joiden suurin sallittu nopeus on

- a) 90 km/h tai alle
- b) 100 km/h (S-liikenne)
- c) 120 km/h (SS-liikenne) [14, s. 4.]

Vaunujen kuormataulukot otettiin käyttöön 1950- ja 1960-lukujen taitteessa, kun ensimmäiset 20 tonnin kuorman sallivat vaunut tulivat käyttöön. Tällöin oltiin ensi kertaa tilanteessa, jossa kaikki vaunut eivät voineet kulkea kaikessa kuormassa koko rataverkolla.

Kuormataulukot tarkoittivat alussa eri rataryhmillä sallittuja kuormia, joilla oli suora yhteys radan kantavuuden (rataryhmä) ja tavaravaunujen kuorman välillä. 1980-luvun alkupuolella, kun Suomessa ratifioitiin kansainvälinen RIV-sopimus (Regolamento Internazionale Veicoli, määräykset tavaravaunujen vastavuoroisesta käytöstä kansainvälisessä liikenteessä), muutettiin kuormataulukon kuormat kansainvälisen mallin mukaisesti tarkoittamaan akselipainoa [22]:

- A = 16 tonnin akselipainoa vastaava kuorma
- B = 18 tonnin akselipainoa vastaava kuorma
- C = 20 tonnin akselipainoa vastaava kuorma
- D = 22,5 tonnin akselipainoa vastaava kuorma (käytössä vuodesta 1984)
- E = 25 tonnin akselipainoa vastaava kuorma (käytössä vuodesta 2002)

Kuormataulukossa kirjaimet A, B, C ja D eivät tarkoita päällysrakenneluokkia vaan merkitsevät akselipainoja.

Taulukko 21. Esimerkkejä suomalaisista kuormataulukoista. Kirjainten A-D alapuolella olevat luvut ilmaisevat vastaavat luvut tonneina. [14, s. 4]

	A	B	C	D	E
90	39,0	47,0	55,0	65,0	75,0
S	39,0	47,0	55,0		
SS	39,0	47,0			
	A	B	C	D	E
S	39,0	47,0	55,0	65,0	75,0
SS	39,0	47,0	55,0		
	A	B	C	D	E
SS	39,0	47,0	55,0	65,0	75,0

E-kuormaa, joka olisi suurempi kuin D-kuorma ei ole SS-nopeudella Suomessa missään käytössä (alin esimerkki taulukossa 21), koska E-kuormassa suurin nopeus on 100 km/h (S).

Suomen rataverkolla kulkeva läntinen yhdysliikenne on jaoteltu SFS-EN 15528 mukaisiin rataluokkiin. Rataluokkien akselipainot ja metripainot vastaavat taulukon 15 arvoja. Taulukossa 22 on kuvattu kansainvälinen kuormataulukko.

Taulukko 22. Esimerkki kansainvälisestä kuormataulukosta. [14, s. 6]

	A	B1	B2	C2	C3 C4	D2	D3	D4
S	37,0	37,0	49,0	54,0	59,0	54,0	63,5	67,0
120					0,00			

Suomen rataverkolla kansainvälisessä kuormataulukossa:

- A tarkoittaa A-kuormaa
- B2 tarkoittaa B-kuormaa
- C4 tarkoittaa C-kuormaa
- D4 tarkoittaa D-kuormaa [14, s. 6].

Kaluston akselipainoja seurataan muun muassa seuraavilla menetelmillä:

- asettamalla vaakoja raja-asemille (riittävä tarkkuus ylipainon seurantaan)
- tärkeimmillä asemilla kaupallisen punnituksen vaakoja, joskus kuljetusmatkan lopulla (ylikuormia saattaa liikkua) [22].

Lisäksi Liikennevirastolla on käynnissä ohjelma, jossa tavoitteena on pyörävoima- ja massamittausten lisääminen [22].

6.2 Nykykalusto

Vuonna 2007 tehdyn selvityksen perusteella silloin Suomen vallitseva kalusto ajoi teliparilla, jossa uloin akseli sijaitsi 2,1 metrin päässä vaunun päädyistä. Tällä hetkellä kuitenkin etäisyys on kaventunut jo 1,5 metriin ja standardi SFS-EN 15528 mukaisia kuormakaavioita käyttäen 1,5 metriä tulee olemaan myös uuden kaluston vakiomitta.

Lisätietoja nykykalustosta löytyy viimeisimmästä julkaistusta JTT:sta (Junaturvallisuussääntöön liittyvät tekniset määräykset ja ohjeet) vuodelta 2006. JTT ei ole enää voimassa, mutta uudempaa kalustotietoa sisältävää julkaisua ei ole julkaistu. Tavaravaunu -YTE määrittää tulevan kaluston.

7 Yhteenvedo ja johtopäätökset

Työssä tutkittiin rataverkon luokittelua ja luokituksen muuttumista uusien ja vanhojen ohjeiden valossa. Luokitukseen liittyvinä asiakokonaisuuksina työssä huomioitiin myös geotekniset junakuormat ja kalustotekniset seikat. Tavoitteena oli koota yhteen jo olemassa olevat tiedot luokittelun sekä osittain mitoitusmaailman muutoksista sekä esittää epäkohtia, jotka tulee huomioida rataverkon luokituksessa eurooppalaisten standardien mukaisesti.

Tutkimustyössä havaittiin, että jako alus- ja päällysrakenneluokkiin tarkoittaa käytännössä sitä, että joissain tapauksissa olemassa olevalla rataverkolla päällysrakenteen laatu ja sen mukainen päällysrakenneluokka mahdollistaa suuremmat nopeudet ja akselipainot, mitä alusrakenne sekä pohjamaa oikeasti kestävät. Tällainen tilanne tulee eteen varsinkin vanhoilla radoilla, joiden mitoitusperusteista ei ole tietoa. Asiaa pahentaa entisestään mitoituskuormien kasvu EN-standardien myötä.

Lisäksi yhteiseurooppalainen rataluokitus tuo kokonaisuudessaan vieläkin suuremman ongelman, koska se on jo perusteiltaan niin erilainen verrattuna nykyiseen luokitukseen, että niitä ei voida edes verrata kunnolla keskenään toistensa kanssa.

Koko tutkimustyön keskeisenä lähtöoletuksena oli se, että Suomessa on tällä hetkellä luvattu rataosuuksille luokkia C4, D4 ja E4 nykyisten päällysrakenneluokkien rajoitusten (akselipaino, RATO 1:n metripaino) mukaisesti, vaikka nykyinen luokitus ei välttämättä kestä uusia rataluokkia. Asiaa tulisi tarkastella paremmin ja mahdollisesti suorittaa kantavuudeltaan heikoimmilla alueilla tarkistuslaskentoja ennen siirtymistä EN-rataluokkiin. Ratojen tarkastus voisi edetä siten, että ensiksi tunnistetaan vaarallisimmat rataosat esimerkiksi pehmeikkökorekterin tietoja hyväksikäyttäen, jonka jälkeen vaarallisimmiksi tunnistetuilla alueilla suoritettaisiin tarkistuslaskenta uusilla kuormilla ja laskentamenetelmillä. Näin voitaisiin varmistaa ratojen kantavuus ja junien liikennöinti kuormien kasvamisen myötä.

Käytännössä ongelma aiheutuu siitä, että nykyinen päällysrakenneluokitus huomioi vain päällysrakenteen, kun taas uudessa luokituksessa huomioidaan koko rata mukaan lukien alusrakenne, sillat, pohjarakenteet ja -vahvistukset sekä pohjamaa. Nykyiset päällysrakenneluokat lupaavat päällysrakenteen perusteella tiettyjä sallittuja arvoja kaluston liikennöinnille, jotka pohjautuvat päällysrakenteen laatuun. Koska uusi luokitus huomioi radan koko infrastruktuurin, ei päällysrakenteen sallimia maksimiarvoja akselipainoille ja nopeuksille voida muuttaa suoraan uuden luokituksen mukaisiksi. Päällysrakenteen osalta tilanne on siis melko hyvä, mutta sen alapuolisten rakenteiden ja pohjamaan osalta ei välttämättä ole.

Uusi rataluokitus edellyttää myös suurempien mitoituskuormien käyttöä stabiliteettilaskennassa. Mitoituksen avulla taataan rakenteen kantavuus esimerkiksi riittävillä rakennepaksuuksilla ja erilaisin pohjanvahvistustoimenpitein, kuten vastapenkereillä, paalulaatoilla, massanvaihdolla ja niin edelleen. Uudessa luokituksessa itse rataluokat ja niiden mukaiset kuormitustapaukset määrittävät mitoituskuormat olemassa oleville radoille, jota suomalaiset päällysrakenneluokat eivät tee. Ongelma on näin ollen myös mitoitusmaailmassa. Jotta junien liikennöitävyys ja ratojen kantavuus voidaan varmistaa myös tulevaisuudessa, tulisi

rataverkko tarkastaa uusien luokitusperusteiden mukaisilla kuormilla. Lisäksi nykyisen yhden ohjeen (RATO 3) sijasta EN-standardeissa 2 ohjetta määräävät kuormat mitoituskuormat uusille ja vanhoille radoille eriarvoisiksi. Myös RATO:n määrittämät mitoituskuormat ovat hieman harhaanjohtavia, koska kuormakaavio LM71 on ollut siinä jo kohta 10 vuotta ja kuitenkin sen mitoituskuormat eivät ole vastanneet eurokoodin kuormia. Tutkimuksessa havaittiin, että tähän on osaltaan vaikuttanut ohjeiden erilainen ajatusmaailma (2D/3D).

Julkaisussa tutkitut Yhteentoimivuuden tekniset eritelmat sekä niiden mukaiset EN-standardit tulevat muuttamaan tutkittujen julkaisujen ja tämän työn tulosten perusteella ratojen mitoitus- ja luokitusmaailmaa. Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi mitoituksessa tullaan jatkossa pohjautumaan vahvasti osavarmuusmenetelyyn entisten kokonaisvarmuuksien sijasta. Uudet standardit vaikuttavat myös kaikkiin muihin nykyisiin asiaa käsitteleviin ohjeisiin ja julkaisuihin, joten myös ne on muutettava tai päivitettävä ohjeistuksen muuttuessa. Koska aikataulu on kireä ja koska muutoksia on kohtuullisen paljon tehtävänä, saadaanko kaikki tarvittavat muutokset ja päivitykset aikataulussa valmiiksi?

Myös kalustotekniset seikat vaikuttavat olennaisesti luokitukseen. Kaluston liikennöitävyys on varmistettava myös tulevaisuudessa. Koska kalustotekniikka muuttuu yhteiseurooppalaisten ohjeiden mukaiseksi (Tavaravaunu-YTE) ja koska rataverkolle tulee sallia SFS-EN 15528 mukainen kalusto, ongelmatilanne on valmis. Uusilla radoilla ei ongelmaa synny, koska uusia eurokoodeja voidaan soveltaa suoraan niiden suunnittelussa. Tämä edellyttää kuitenkin kansallisten sovellusohjeiden valmistumista määräajassa (voi olla ongelmallista edelleen aikataulusta johtuen). Lisäksi, vaikka uusilla radoilla teknistä ongelmaa ei muodostu, ovat taloudelliset ongelmat todellisia. Koska kuormat kasvavat, tarvitaan vahvempia rakenteita, mikä taas tarkoittaa rahankäytön lisääntymistä.

Tutkimustyössä todettiin myös, että uusien rataluokkien myötä voi olla välttämätöntä laskea tarvittaessa tietyillä rataosuuksilla nykyisin sallittuja akselipainoja. Tämä johtuu pitkälti siitä, että suomalainen pohjamaa on kantavuudeltaan niin heikkoa, ettei se kestä muuttuneen kaluston aiheuttamia kasvavia kuormia. Vaikka lähtöoletuksena akselipainojen laskemista ei pidetty suotavana, niin se on kuitenkin ainoa keino pohjanvahvistustoimenpiteitä lukuun ottamatta varmistaa kaluston turvallinen kulku Suomen rataverkolla, koska nopeuksia laskemalla ei voida sallia suurempia kuormia maanvaraisten penkereiden osalta. Näin ollen tuleva suomalainen käytäntö EN-rataluokituksesta perustuisi akselipainoon ja nopeuteen samankaltaisesti kuin nykyisinkin: kantavuustarkastelujen perusteella määritettäisiin rataosuuksille suurimmat sallitut akselipainorajoitukset sekä niiden mukaiset nopeudet.

Lisäksi tulisi tutkia tarkemmin, minkälainen vaikutus päällysrakenteella on alapuolisten rakenteiden ja pohjamaan sallimiin akselipainoihin ja nopeuksiin uudessa rataluokituksessa eli onko mahdollista, että parempilaatuisella päällysrakenteella voitaisiin kuitenkin sallia nykyisen kaltaisesti suurempia kuormia pienemmillä nopeuksilla, vaikka maanvaraisen penkereen osalta nopeuksia laskemalla ei voidakaan sallia suurempia kuormia. Tätä vaihtoehtoa tulisi tutkia, koska nykyisin päällysrakenneluokitus sallii suurempia kuormia pienemmillä nopeuksilla ja esimerkiksi RATO 11:ssä parempilaatuisille kiskoille ja pölkyille sallitaan suurempia nopeuksia ja sallittuja akselipainoja.

Lisäksi, ehdotuksena esimerkiksi jo käynnissä oleville ratahankkeille voisi suunnitteluperusteita muuttaa siten, että ne vastaisivat uusien standardien ohjeita. Tällöin saavutettaisiin heti uudet määräysten vaatimat edellytykset. Tämä voi olla kuitenkin taloudellisesti ja aikataulullisesti mahdotonta.

Tutkimustyön tuloksia voitaneen osittain hyödyntää siirryttäessä rataverkon luokituksessa EN-standardien käyttöön. Tutkimustyön perusteella ongelmakohdat ovat tunnistettavissa ja havaittujen ongelmien ja puutteiden pohjalta voidaan kehittää uuden ja vanhan luokittelusysteemin yhdistämistä. Lisäksi ongelmakohtia voidaan välttää niiden tunnistamisen ansioista. Tutkimustyössä saavutettujen tulosten perusteella ainakin tulevien rataluokkien ja nopeuksien merkintätapaa voitaneen hyödyntää tulevaisuudessa Suomen rataverkolla. Tutkimustyössä todettiin myös, että aiheesta tarvitaan lisäselvityksiä ainakin laskentamaailman ja kuormavaikutusten osalta.

Lähdeluettelo

- [1] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3, Radan rakenne. Helsinki: Ratahallintokeskus. 2008
- [2] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 11, Radan päällysrakenne. Helsinki: Ratahallintokeskus. 2002
- [3] Verkkoselostus 2011. Ratahallintokeskuksen julkaisu F3/2009. Helsinki: Ratahallintokeskus. 2009
- [4] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 1, Yleiset perusteet. Helsinki: Ratahallintokeskus. 1995
- [5] SFS-EN 15528:2008, European Standard, Railway Application – Line categories for managing the interface between load limits of vehicles and infrastructure. Bryssel: European Committee for Standardization. Maaliskuu 2008
- [6] SFS-EN 1991-2:2003, European Standard, Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges. Bryssel: European Committee for Standardization (CEN). Syyskuu 2003
- [7] Technical Specification for Interoperability, Infrastructure Sub-System for conventional rail (TSI-Infra) (suom. Yhteentoimivuuden tekniset eritelmät). Lopullinen luonnos 2009
- [8] www-sivu:
http://www.rautatievirasto.fi/fi/saadokset/ytet_ja_kansalliset_maaraykset
luettu 12.2.2010
- [9] Tutkimus aiheesta geoteknisessä suunnittelussa käytettävät junakuormat. Tekijät: Jaakko Heikkilä (Arcus Oy), Kari Ojanperä (Peverk Oy). Ratahallintokeskus. 2009
- [10] Heikkilä, Jaakko, Arcus Oy, toimialapäällikkö, (geotekniikka). Re: Insinööriyö rataverkon luokittelusta [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Arttu Tuominen. Lähetetty 24.2.2010 [viitattu 25.2.2010].
- [11] Asiantuntija Kari Ojanperän haastattelu (Kari Ojanperä, Peverk Oy, asiantuntija). 22.1.2010 ja 3.3.2010.
- [12] Päällysrakennetöiden yleinen työselitys. Ratahallintokeskuksen julkaisu D16. Helsinki: Ratahallintokeskus. 2004
- [13] Radan stabiiliteetin laskenta, olemassa olevat penkereet. Ratahallintokeskuksen julkaisu B15. Helsinki: Ratahallintokeskus. 2005
- [14] Rautatieviraston määräys tavaravaunujen suurimmasta sallitusta kuormasta, junapainosta ja junan kokoonpanosta. Rautatieviraston julkaisu. Helsinki: Rautatievirasto. 2008

- [15] Junaturvallisuussääntöön liittyvät tekniset määräykset ja ohjeet (JTT). Valtionrautateiden julkaisu. Helsinki. 1987
- [16] Aikataulukirja, A-osa. Valtionrautatiet. Helsinki 1961
- [17] Aikataulukirja, B-osa. Valtionrautatiet. Helsinki 1924
- [18] Junaturvallisuussääntöön liittyvät tekniset määräykset ja ohjeet (JTT). Valtionrautateiden julkaisu, 1. painos. Helsinki. 1969
- [19] Junaturvallisuussääntöön liittyvät tekniset määräykset ja ohjeet (JTT). Valtionrautateiden julkaisu. Helsinki. 1981
- [20] SFS-EN 1991-2 Rakenteiden kuormat, Osa 2. Siltojen liikennekuormat, Suomen kansallinen liite. Liikenne- ja viestintäministeriö. 2009
- [21] Rataverkon kuvaus 1.1.2010. Ratahallintokeskuksen julkaisu F8/2009. Helsinki: Ratahallintokeskus. 2009
- [22] Ojanperä, Kari, Peverk Oy, asiantuntija. Re: Insinööritoimisto rataverkon luokittelusta [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Arttu Tuominen. Lähetetty 26.2.2010 [viitattu 26.2.2010].
- [23] Aluepäällikkö Erkki Mäkelä haastattelu (Erkki Mäkelä, aluepäällikkö, TkL, Liikenneviraston rautatieosasto). 3.3.2010.
- [24] Junaturvallisuussääntöön liittyvät tekniset määräykset ja ohjeet (JTT), muutoslehti 2. Ratahallintokeskuksen julkaisu. Helsinki: Ratahallintokeskus. 2006
- [25] UIC CODE 700, OR, Classification of lines - Resulting load limits for wagons. 10th edition. Union Internationale des Chemins de fer UIC. 2004
- [26] Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3, koulutustilaisuus. Tekijät: Erkki Mäkelä (Liikenneviraston rautatieosasto), Jaakko Heikkilä (Arcus Oy), Jouko Törnqvist (VTT), Harri Kivikoski (VTT). Helsinki: Ratahallintokeskus. 2008
- [27] SFS-EN 15566:2008, European Standard, Railway Application – Railway Rolling Stock – Draw gear and screw coupling. Bryssel: European Committee for Standardization. Syyskuu 2008
- [28] Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RAMO) osa 8, Sillat. Versio RHK 905/731/96, 20.8.1996. Helsinki: Ratahallintokeskus. 1996
- [29] Eurokoodi 7: Stabiiliteetin ja anturan kantokyvyn vertailulaskelmat. Tekijät: Juha-Pekka Rasilainen, Antti Mustajärvi. Metropolia Ammattikorkeakoulun projektityö, tehty Destia Oy:lle. Helsinki 2009
- [30] www-sivu: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Scepk.GIF>, tekijä Dmitry Sutyakin, luettu 8.4.2010, viitattu 8.4.2010

- [31] www-sivu: <http://www.axtone.eu/products/t3-class.html> luettu 8.4.2010, viitattu 8.4.2010

Sallitut nopeudet eri akselipainoilla rataosittain

Rataosuus	Päälys-rakenne-luokka	Matkustaja-junat		Tavarajunat			
		veturi-junat	moottori-junat	≤ 160 kN	160 ≤ 200 kN	200 ≤ 225 kN	225 ≤ 250 kN
Helsinki-Turku satama							
Helsinki asema-Leppävaara	D	120	120	120	120	100	—
Leppävaara-Kirkkonummi	C ₂	120	120	120	120	100	—
Kirkkonummi-Karjaa	C ₁	160	180	120	120	100	—
Karjaa-Pohjankuru	D	160	200	120	120	100	—
Pohjankuru-km 103,6	C ₁	160	180	120	120	100	—
km 103,6-km 158,0	C ₂	160	200	120	120	100	—
km 158,0-Turku asema	C ₁	160	180	120	120	100	—
Turku asema-Turku satama	C ₁	40	40	40	40	40	—
Huopalahti-Vantaankoski	C ₁	120	120	120	120	100	—
Hyvinkää-Karjaa							
Hyvinkää-km 133,1	C ₁	80	80	80	80	80	—
km 133,1-Kirkniemi	D	80	80	80	80	80	—
Kirkniemi-km 152,2	D	80	80	80	80	80	80
km 152,2-Karjaa	C ₁	80	80	80	80	80	60
Lohja-Lohjanjärvi⁴	B ₁	—	—	35	35	35	—
Karjaa-Hanko							
Karjaa-km 205,7	D	120	120	120	120	100	100
km 205,7-Hanko-Pohjoinen	C ₁	60	60	60	60	60	60
Hanko-Pohjoinen-Hanko asema	B ₁	35	35	35	35	35	35
Turku-Uusikaupunki							
Turku asema-Raisio (km 207,4)	C ₁	60	60	60	60	60	—
Raisio (km 207,4)-Uusikaupunki	B ₁	60	60	60	60	50	—
Uusikaupunki-Hangonsaari⁴							
Uusikaupunki-km 269,0	C ₁	—	—	30	30	30	—
km 269,0-km 269,7	B ₁	—	—	30	30	30	—
km 269,7-Hangonsaari	C ₁	—	—	30	30	30	—
Raisio-Naantali	B ₁	50	50	50	50	50	—
Helsinki-Riihimäki							
Helsinki asema-Pasila asema	C ₁	80	80	80	80	80	—
Pasila asema-Tikkurila	D	160	160	120	120	100	100
läntisin raide							
Pasila asema-Tikkurila	D	160	160	120	120	100	100
läntinen keskiraide							
Pasila asema-Tikkurila	D	120	120	120	120	100	100
itäinen keskiraide							
Pasila asema-Tikkurila	D	120	120	120	120	100	100
itäisin raide							
Tikkurila-Kerava asema	D	200	200	120	120	100	100
läntisin raide							
Tikkurila-Kerava asema	D	200	200	120	120	100	100
läntinen keskiraide							

⁴ Lükemointi sallittu ainoastaan vaihtotyönä.

Rataosuus	Päällysrakenneluokka	Matkustajajunat		Tavarajunat			
		veturi-junat	moottori-junat	≤ 160 kN	160 ≤ 200 kN	200 ≤ 225 kN	225 ≤ 250 kN
Tikkurila-Kerava asema	D	120	120	120	120	100	100
itäinen keskiraide							
Tikkurila-Kerava asema	D	120	120	120	120	100	100
itäisin raide							
Kerava asema-Kytömaa	D	120	120	120	120	100	100
läntisin raide							
Kerava asema-Kytömaa	D	200	200	120	120	100	100
läntinen keskiraide							
Kerava asema-Kytömaa	D	200	200	120	120	100	100
itäinen keskiraide							
Kerava asema-Kytömaa	D	120	120	120	120	100	100
itäisin raide							
Kytömaa-Kyrölä	D	200	200	120	120	100	100
Kyrölä-Purola läntinen raide	D	200	200	120	120	100	100
Kyrölä-Purola keskiraide	D	200	200	120	120	100	100
Kyrölä-Purola itäinen raide	D	120	120	120	120	100	100
Purola-Riihimäki asema	D	200	200	120	120	100	100
Kerava-Hakosilta							
Kytömaa-Hakosilta	D	200	220	120	120	100	100
Kerava-Sköldvik							
Kytömaa-Sköldvik	D	80	80	80	80	80	—
Olli-Porvoo ³	A	35	50	30	30	—	—
Kerava-Vuosaari	D	—	—	80	80	80	80
Riihimäki-Tampere							
Riihimäki asema-Sääksjärvi	D	200	200	120	120	100	100
Sääksjärvi-Tampere tavara	D	200	200	120	120	100	100
läntinen raide							
Sääksjärvi-Tampere tavara	D	200	200	120	120	100	100
keskiraide							
Sääksjärvi-Tampere tavara	D	100	100	100	100	100	100
itäinen raide							
Tampere tavara-Tampere asema	D	200	200	120	120	100	100
Toijala-Turku							
Toijala-km 155,4	D	140	140	120	120	100	—
km 155,4–km 156,5	D	140	140	120	120	100	—
km 156,5–km 256,7	D	140	140	120	120	100	—
km 256,7–Turku asema	D	120	120	120	120	100	—
Toijala-Valkeakoski	C ₁	50	50	50	50	50	—

³ Museorata, liikennöinti Rautatieviraston antaman määräyksen Museoliikenne (Dmro RVI/295/411/2008) mukaisesti

Rataosuus	Päälys- rakenne- luokka	Matkustaja- junat		Tavarajunat			
		vetari- junat	moottori- junat	≤ 160 kN	160 ≤ 200 kN	200 ≤ 225 kN	225 ≤ 250 kN
Tampere–Seinäjoki							
Tampere asema–Lielahdi	D	120	120	120	120	100	—
Lielahdi–Pohjois-Louko	D	200	200	120	120	100	—
Pohjois-Louko–km 343,6	D	200	200	120	120	100	—
läntinen raide							
Pohjois-Louko–km 344,2	D	160	160	120	120	100	—
itäinen raide							
km 343,6–Seinäjoki asema	D	140	140	120	120	100	—
läntinen raide							
Lielahdi–Kokemäki	C ₁	140	140	120	120	100	—
Kokemäki–Pori							
Kokemäki–Harjavalta	D	140	140	120	120	100	—
Harjavalta–Pori	D	140	140	120	120	100	100
Pori–Mäntyluoto	C ₁	70	70	70	70	70	50
Mäntyluoto–Tahkoluoto	B ₂	50	50	50	50	50	—
Kokemäki–Rauma	D	100	100	100	100	100	—
Pori–Ruosniemi⁶	B ₁	—	—	20	20	20	—
Niinisalo–Parkano–Kihniö							
Niinisalo–Parkano	A	30	30	30	30	—	—
Parkano–Kihniö	A	30	30	30	30	—	—
Seinäjoki–Vaasa	C ₂	120	120	120	120	100	—
Vaasa–Vaskiluoto⁶	A	—	—	30	30	20	—
Seinäjoki–Kaskinen⁷							
Seinäjoki–km 452,0	B ₁	80	80	80	60	50	—
km 452,0–km 513,8	B ₁	60	60	60	50	40	—
km 513,8–km 514,6	B ₁	30	30	30	30	30	—
km 514,6–Kaskinen	B ₁	60	60	60	50	40	—
Seinäjoki–Oulu							
Seinäjoki–km 419,0	C ₂	140	140	120	120	100	—
km 419,0–km 422,9	D	140	140	120	120	100	—
km 422,9–km 441,8	C ₂	140	140	120	120	100	—
km 441,8–km 455,5	D	140	140	120	120	100	—
km 455,5–km 456,0	C ₂	140	140	120	120	100	—
km 456,0–km 518,1	D	140	140	120	120	100	—
km 518,1–km 519,1	C ₂	140	140	120	120	100	—
km 519,1–km 551,0	D	140	140	120	120	100	—
km 551,0–km 553,1	C ₂	70	70	70	70	70	—
km 553,1–Oulu asema	D	140	140	120	120	100	—
Pännäinen–Pietarsaari	C ₂	60	60	60	60	60	—
Pietarsaari–Alholma⁶	B ₁	—	—	35	35	35	—

⁶ Liikennöinti sallittu ainoastaan vaihtotyönä.⁷ Silloista johtuva rajoitus, ks. kohta 3.10.

Rataosuus	Päälyys- rakenne- luokka	Matkustaja- junat		Tavarajunat			
		veturi- junat	moottori- junat	≤ 160 kN	160 ≤ 200 kN	200 ≤ 225 kN	225 ≤ 250 kN
Kokkola–Ykköspihlaja ^a	B ₁	—	—	35	35	35	—
Tuomioja–Raahe	C ₂	80	80	80	80	80	—
Raahe–Rautaruukki ^a	C ₂	—	—	35	35	35	—
Riihimäki–Kouvola							
Riihimäki asema–Hakosilta	D	140	140	120	120	100	—
Hakosilta–Lahti	D	160	200	120	120	100	80
Lahti–Kouvola asema	D	140	140	120	120	100	—
Kouvola–Kuusankoski							
Kouvola asema–Kuusankoski	C ₁	50	50	50	50	50	—
Lahti–Heimola	B ₁	60	60	60	60	50	—
Lahti–Loviisan satama	B ₁	60	60	60	60	50	—
Lahti–Mukkula ^a	B ₁	—	—	35	35	35	—
Kouvola–Kotka							
Kouvola tavara–Juurikorpi	D	120	120	120	120	100	—
läntinen raide							
Kouvola Oikoraide–Inkeroinen	C ₁	120	120	120	120	100	—
itäinen raide							
Inkeroinen–Juurikorpi	D	120	120	120	120	100	—
itäinen raide							
Juurikorpi–Paimenportti	D	120	120	120	120	100	—
Paimenportti–Kotka asema	C ₁	80	80	80	80	80	—
Kotka asema–Kotkan satama	C ₁	35	35	35	35	35	—
Kotka Hovinsaari–Kotka Mussalo	C ₁	50	50	50	50	50	—
Juurikorpi–Hamina	C ₁	100	100	100	100	100	—
Kouvola–Joensuu							
Kouvola asema–Luumäki	D	140	140	120	120	100	—
eteläinen raide							
Kouvola asema–Luumäki	D	140	140	120	120	100	—
pohjoinen raide							
Luumäki–km 395,5	D	140	140	120	120	100	—
km 395,5–Säkäniemi	C ₂	140	140	120	120	100	—
Säkäniemi–Joensuu Sulkulahti	D	140	140	120	120	100	—
Joensuu Sulkulahti–Joensuu asema	C ₁	90	90	90	90	90	—
Luumäki–Vaimilka-raja	D	120	120	120	120	100	—
Lappeenranta–Mustolan satama ^a	C ₁	—	—	50	50	50	—
Imatra tavara–Imatrankoski-raja	D	50	50	50	50	50	—
Niirala-raja–Säkäniemi	D	100	100	100	100	100	—

^a Lükennöinti sallittu ainoastaan vaihtotyönä.

Rataosuus	Päälyys- rakenne- luokka	Matkustaja- junat		Tavarajunat			
		veturi- junat	moottori- junat	≤ 160 kN	160 ≤ 200 kN	200 ≤ 225 kN	225 ≤ 250 kN
Joensuu–Ilomantsi							
Joensuu Sulkulahti–km 660,4	A	50	50	50	30	—	—
km 660,4–km 664,1	B ₁	50	50	50	40	—	—
km 664,1–km 678,4	A	50	50	50	30	—	—
km 678,4–km 683,8	B ₁	50	50	50	40	—	—
km 683,8–km 687,9	A	50	50	50	30	—	—
km 687,9–km 692,5	B ₁	50	50	50	40	—	—
km 692,5–Ilomantsi	A	50	50	50	30	—	—
Joensuu–Kontiomäki							
Joensuu asema–Uimaharju	C ₂	120	120	120	120	100	—
Uimaharju–Lieksa	C ₂	100	100	100	100	100	—
Lieksa–Nurmes	B ₂	110	110	110	90	80	—
Nurmes–Porokylä (km 787,9)	B ₂	80	80	80	80	80	—
Porokylä (km 787,9)–km 807,5	C ₂	80 ⁹	80 ⁹	80 ⁹	80 ⁹	80 ⁹	—
km 807,5–km 809,2	C ₂	60 ⁹	60 ⁹	60 ⁹	60 ⁹	60 ⁹	—
km 809,2–km 810,2	B ₁	60 ⁹	60 ⁹	60 ⁹	60 ⁹	60 ⁹	—
km 810,2–km 813,7	C ₂	60 ⁹	60 ⁹	60 ⁹	60 ⁹	60 ⁹	—
km 813,7–Maanselkä (km 836,4)	C ₂	80 ⁹	80 ⁹	80 ⁹	80 ⁹	80 ⁹	—
Maanselkä (km 836,4)–Vuokatti (km 868,5)	A	50	50	50	30	—	—
Vuokatti (km 868,5)–Kontiomäki	B ₁	80	80	80	60	50	—
Lieksa–Pankkoski¹⁰							
Lieksa–Pankkoski ¹⁰	A	—	—	30	30	20	—
Vuokatti–Lahnaslampi¹⁰							
Vuokatti–Lahnaslampi ¹⁰	B ₂	—	—	50	50	50	—
Kouvola–Pieksämäki							
Kouvola asema–km 245,9	D	140	140	120	120	100	—
km 245,9–Otava	D	160	200	120	120	100	—
Otava–Pieksämäki asema	D	140	140	120	120	100	—
Mynttilä–Ristiina							
Mynttilä–Ristiina	A	50	50	50	35	20	—
Otava–Otavan satama¹⁰							
Otava–Otavan satama ¹⁰	B ₁	—	—	35	35	35	—
Pieksämäki–Kontiomäki							
Pieksämäki asema–Kuopio km 466,0	C ₂	140	140	120	120	100	—
Kuopio km 466,0–km 471,6	D	140	140	120	120	100	—
km 471,6–km 473,8	C ₂	140	140	120	120	100	—
km 473,8–km 513,7	D	140	140	120	120	100	—
km 513,7–Murtomäki	C ₂	140	140	120	120	100	—
Murtomäki–Kajaani	C ₁	140	140	120	120	100	—
Kajaani–Kontiomäki	C ₁	140	140	120	120	100	—
Suonenjoki–Iisvesi¹⁰							
Suonenjoki–Iisvesi ¹⁰	B ₁	—	—	35	35	35	—
Murtomäki–Otanmäki¹⁰							
Murtomäki–Otanmäki ¹⁰	A	—	—	50	40	—	—
Kajaani–Lamminniemi¹⁰							
Kajaani–Lamminniemi ¹⁰	B ₁	—	—	35	35	35	—

⁹ Odottaa Rautatieviraston hyväksyntää.¹⁰ Liikennöinti sallittu ainoastaan vaihtotyönä.

Rataosuus	Päälyys- rakenne- luokka	Matkustaja- junat		Tavarajunat			
		veturi- junat	moottori- junat	≤ 160 kN	160 ≤ 200 kN	200 ≤ 225 kN	225 ≤ 250 kN
Pieksämäki-Joensuu							
Pieksämäki-Varkaus	C ₂	120	120	120	120	100	—
Varkaus-Joensuu asema	C ₂	120	120	120	120	100	—
Varkaus-Kommila	B ₂	50	50	50	50	50	—
Huutokoski-Savonlinna	C ₂	80	80	80	80	80	— ■
Savonlinna-Parikkala ¹¹	B ₂	110	110	110	90	80	—
Siihtijärvi-Viimijärvi	C ₂	100	100	100	100	100	—
Sysmäjärvi-Vuonos ¹²	B ₂	—	—	35	35	35	— ■
Tampere-Jyväskylä							
Tampere Järvensivu-Orivesi	C ₂	140	140	120	120	100	—
Orivesi-km 287,4	D	120	140	120	120	100	—
km 287,4-km 308,2	D	160	160	120	120	100	—
km 308,2-km 312,6	C ₁	160	160	120	120	100	— ■
km 312,6-km 329,7	D	160	160	120	120	100	—
km 329,7-km 332,8	C ₁	160	160	120	120	100	—
km 332,8-Jyväskylä (km 340,0)	D	160	160	120	120	100	— ■
Jämsä-Kaipola¹²	B ₁	—	—	50	50	50	— ■
Orivesi-Seinäjoki							
Orivesi-Haapamäki	B ₁	100	100	100	70	50	—
Haapamäki-Pihlajavesi	C ₂	100	100	100	100	100	— ■
Pihlajavesi-Seinäjoki	B ₁	100	100	100	60	50	—
Vilppula-Mänttä	B ₁	50	50	50	50	50	—
Haapamäki-Jyväskylä	B ₁	100	100	100	70	50	—
Jyväskylä-Pieksämäki							
Jyväskylä-Pieksämäki asema	C ₁	140	140	120	120	100	—
Jyväskylä-Äänekoski	C ₁	100	100	100	100	100	—
Äänekoski-Haapajärvi	A	60	60	60	40	—	—
Iisalmi-Ylivieska							
Iisalmi-km 555,8	C ₁	120	120	120	120	100	—
km 555,8-km 613,1	D	120	120	120	120	100	—
km 613,1-Ylivieska	C ₂	120	120	120	120	100	—
Pyhäkumpu erk.vh-Pyhäkumpu	B ₁	35	35	35	35	35	—
Oulu-Laurila							
Oulu asema-Laurila	C ₂	140	140	120	120	100	—
Kemi-Ajos¹²	B ₁	—	—	50	50	50	— ■

¹¹ Silloista johtava rajoitus, ks. kohta 3.10.¹² Lükennöinti sallittu ainoastaan vaihtotyönä.

Rataosuus	Päälyys- rakenne- luokka	Matkustaja- junat		Tavarajunat			
		veturi- junat	moottori- junat	≤ 160 kN	160 ≤ 200 kN	200 ≤ 225 kN	225 ≤ 250 kN
Laurila-Tornio-raja							
Laurila-Tornio	C ₂	120	120	120	120	100	—
Tornio-Tornio-raja	C ₁	40	40	40	40	40	—
Tornio-Röyttä¹²	B ₁	—	—	50	50	50	—
Tornio-Kolari							
Tornio-km 885,6	B ₂	80	80	80	80	80	—
km 885,6–km 963,1	D	80	80	80	80	80	—
km 963,1–km 964,3	C ₁	80	80	80	80	80	—
km 964,3–km 1011,6	B ₂	80	80	80	80	80	—
km 1011,6–Kolari	C ₁	100	100	100	100	100	—
Laurila-Kemijärvi							
Laurila-Koivu	D	140	140	120	120	100	—
Koivu-Rovaniemi	D	120	120	120	120	100	—
Rovaniemi-Misi	C ₂	100	100	100	100	100	—
Misi-km 1037,1	C ₁	100	100	100	100	100	—
km 1037,1–Kemijärvi	B ₁	100	100	100	60	50	—
Kemijärvi-Kelloselkä							
Kemijärvi-Isokylä	B ₁	50	50	50	50	50	—
Isokylä-Kelloselkä	A	50	50	50	40	—	—
Oulu-Kontiomäki							
Oulu Nokela-Utajärvi	C ₁	120	120	120	120	100	—
Utajärvi-km 878,2	C ₁	140	140	120	120	100	—
km 878,2–Paltamo	C ₁	120	120	120	120	100	—
Paltamo-Kontiomäki	C ₁	140	140	120	120	100	—
Kontiomäki-Ämmänsaari	A	50	50	50	40	—	—
Kontiomäki-Vartius-raja							
Kontiomäki-km 662,3	C ₁	80	80	80	80	80	—
km 662,3–km 664,0	C ₂	80	80	80	80	80	—
km 664,0–km 665,1	C ₁	80	80	80	80	80	—
km 665,1–km 666,2	C ₂	80	80	80	80	80	—
km 666,2–km 672,0	C ₁	80	80	80	80	80	—
km 672,0–km 680,9	C ₂	80	80	80	80	80	—
km 680,9–km 682,0	C ₁	80	80	80	80	80	—
km 682,0–km 687,5	C ₂	80	80	80	80	80	—
km 687,5–km 734,8	C ₁	80	80	80	80	80	—
km 734,8–km 747,5	C ₂	80	80	80	80	80	—
km 747,5–km 754,8	C ₁	80	80	80	80	80	—
km 754,8–Vartius-raja	C ₂	80	80	80	80	80	—

Huomautukset taulukkoon 14

- Matkustajavaunut (mukaan lukien henkilö- ja matkatavaravaunut sekä autonkuljetusvaunut), muu liikkuva kalusto, veturit, moottorivaunut, sähkö- ja dieselmoottorijunat, vetokalustot ja kiskobussit on määritelty Liikkuvan kaluston YTE:ssä. Kevyet tavaravaunut määritellään matkatavaravaunuiksi, paitsi että niitä voidaan siirtää muodostelmissa, joita ei ole tarkoitettu henkilöiden siirtämiseen.
- Rakenteita koskevat vaatimukset ovat yhteensopivia, kun kyseessä ovat sellaiset henkilövaunut, matkatavaravaunut, autonkuljetusvaunut, kevyet tavaravaunut tai sähkö- ja dieselmoottorijunissa ja vetokalustoissa olevat vaunut, joiden pituus voi olla 18–27,5 m tavanomaisissa ja taittuvissa vaunuissa 9–14 m, jos juna on yksiakselinen.
- Kun tarkistetaan infrastruktuurin vähimmäisvaatimuksia, voidaan vaihtoehtoisina vähimmäisvaatimuksina ilmoitetuille veturiluokille käyttää seuraavia EN-rataluokkia: luokkiin L_{421,5} L_{422,5} sovelletaan suuretta D2 ja luokkiin L₆₁₉ L₆₂₀ L₆₂₁ L₆₂₂ sovelletaan suuretta D4xL.
- Rakenteita koskevat vaatimukset ovat yhteensopivia, kun kyseessä on korkeintaan kaksi peräkkäistä kytkettyä veturia ja/tai moottorivaunua. Jos suurin tuntinopeus on 120 km/h, rakenteita koskevat vaatimukset ovat yhteensopivia, kun peräkkäin kytkettyjä vetureita ja/tai moottorivaunuja on kolme tai enemmän (tai kyseessä on yhdistelmä, jossa on vetureita ja/tai moottorivaunuja). Veturien ja moottorivaunujen on noudatettava tavara-vaunuille asetettuja vastaavia raja-arvoja.
- Rakenteita koskevat vaatimukset ovat yhteensopivia, kun keskimääräinen massa pituusyksikköä kohden kunkin vaunun pituudelta on 2,75 t/m.
- Rakenteita koskevat vaatimukset ovat yhteensopivia, kun keskimääräinen massa pituusyksikköä kohden kunkin vaunun pituudelta on 3,1 t/m.
- Rakenteita koskevat vaatimukset ovat yhteensopivia, kun keskimääräinen massa pituusyksikköä kohden kunkin vaunun pituudelta on 3,5 t/m.
- Virallista YTE-eritelmää ei ole laadittu [7, s. 79.]

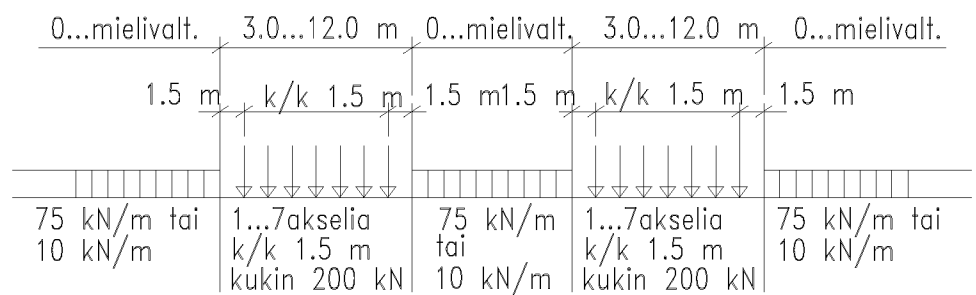
Taulukon 10 yläviitteet

- Kolme- ja useampiraiteisen radan poikkileikkaukset muodostetaan yksi- ja kaksiraiteisen radan normaalipoikkileikkauksista.
- Pengerleveyttä 6,8 m käytetään ainoastaan kaarteissa, joiden $R < 5000$ m, jolloin pengerlevitys tehdään kokonaisuudessaan ulkokaarten puolelle. Pengerleveys 6,0 m on kaarteessakin riittävä silloin, kun radan rakenne rajoittuu kiinteään esteeseen (laiturit, kallioleikkaukset, sillat ja tunnelit).
- Pengerleveyttä 6,8 m käytetään suoralla radalla ja 7,2 m pengerleveyttä kaarteissa, joiden $R < 5000$ m, jolloin 0,4 m epäsymmetrinen pengerlevitys tehdään ulkokaarten puolelle.
- Pengerleveyttä 11,1 m käytetään ainoastaan kaarteissa, jolloin pengerlevitys tehdään kokonaisuudessaan ulkokaarten puolelle. Pengerleveys 10,3 m on kaarteessakin riittävä silloin, kun radan rakenne rajoittuu kiinteään esteeseen (laiturit, kallioleikkaukset, sillat ja tunnelit).
- Pengerleveyttä 11,3 m käytetään suoralla radalla ja 11,7 m pengerleveyttä kaarteissa, jolloin 0,4 m epäsymmetrinen pengerlevitys tehdään ulkokaarten puolelle.
- Siltojen päiden penkereen levennys on suunniteltava ratkaisuna, jossa pengerleveys ulottuu 4 metrin etäisyydelle reunimmaisen raiteen keskilinjasta 10 m matkalla alkaen sillan siipimuurin päästä ja se muuttuu radan poikkileikkauksen mukaiseksi seuraavan 5 m matkalla [3, s. 34.]

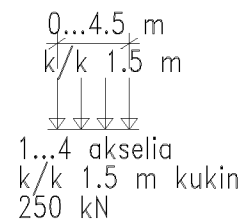
Kuormakaavio VR-74 [28]

Leveäraiteisten ratojen (1524 mm)
junakuormat (VR 1974)

a)



b)



Kuva 1.

Kuormakaavio VR-74. Ensimmäisen kerran kuormakaavio LM71:n periaatteita hyödynnettiin kuormakaaviossa VR-74, joka oli tarkoitettu siltojen mitoittamiseen. [28]

Esimerkki mahdollisesta rataluokkien merkitsemisestä rataosuksittain

Taulukko 1. Esimerkki rataosittain tehtävästä merkintätavasta, jossa matkustajaliikenteelle ja tavaraliikenteelle määrättäisiin eri kalustoluokat ja nopeudet. Matkustajaliikenteelle B1 vastaa nykyisessä luokituksessa moottorijunia ja C2 veturivetoisia junia.

Rataosuus	Rataluokka	Matkustajaliikenteen nopeus rataluokittain (km/h)		Tavaraliikenteen nopeus rataluokittain (km/h)		
		B1	C2	C4	D4	E4
Liikennepaikka 1 - km xxx+yyy	E4	200	200	120	100	100
Km xxx+yyy - Liikennepaikka 2	D4	120	120	120	100	-
Liikennepaikka 2 - Liikennepaikka 3	C4	50	50	50	-	-

Liik
enne
vira
sto

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-542-7

www.liikennevirasto.fi